

**ESTANDARIZACIÓN DE PRODUCCION DE BIO-ETANOL A BASE DE
MUCILAGO DE CAFÉ EN LA PLANTA DE BIOCOMBUSTIBLES DEL TECNO-
PARQUE YAMBORO DEL SENA PITALITO HUILA**

PROPUESTA DE PROYECTO APLICADO

**CARLOS DANIEL GUZMAN MUÑOZ
83258559**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR
EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL**

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD
ESCUELA DE CIENCIAS BÁSICAS, TECNOLOGÍA E INGENIERÍA
CEAD PITALITO
2014**

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE FIGURAS	4
INDICE DE TABLAS	5
INDICE DE IMAGENES	6
INTRODUCCIÓN	7
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.1. ANTECEDENTES	9
2. JUSTIFICACIÓN	11
2.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	11
2.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	11
2.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA	12
3. OBJETIVOS	13
3.1. OBJETIVO GENERAL	13
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
4. MARCOS DE REFERENCIA	14
4.1. MARCO TEÓRICO	14
4.2. MARCO CONTEXTUAL	19
4.3. MARCO CONCEPTUAL	23
4.4. MARCO LEGAL	25
5. METODOLOGÍA	27
5.1. ESQUEMA METODOLÓGICO	27
5.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	28
5.2.1. DIAGNÓSTICO	28
5.2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL DE PROCESOS	28
5.3. VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD	28
5.4. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	28
6. RESULTADOS	29
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
ANEXOS	86

ANEXO 1: Descripción del proceso de beneficio del café con el desmucilaginador.....	86
ANEXO 2: Análisis de costo beneficio para la producción de etanol a partir del mucilago de café en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro del SENA Pitalito Huila.	88

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano general de la planta	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2: Plano de distribución de equipos	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3: Descripción gráfica del proceso	77

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Descripción de los equipos de la planta de biocombustibles del tecnoparque Yamboro.....	34
Tabla 2: Ficha Técnica Balanza Digital.	39
Tabla 3: Ficha Técnica Caja De Control.....	40
Tabla 4: Ficha Técnica Bascula digital.	40
Tabla 5 : Ficha Técnica Tanques de fermentación.....	41
Tabla 6: Ficha Técnica Motobomba De Reflujo	41
Tabla 7: Ficha Técnica Caldera.	42
Tabla 8: Ficha Técnica Pre-calentador.....	42
Tabla 9: Ficha Técnica Caudalimetro.	43
Tabla 10: Ficha Técnica Motobomba Enfriamiento.	43
Tabla 11: Ficha Técnica Motobomba De Alimentación.....	44
Tabla 12: Ficha Técnica Pasteurizadora	44
Tabla 13: Ficha Técnica Motobomba De Succión	45
Tabla 14: Ficha Técnica Motor Agitador.....	45
Tabla 15: Ficha Técnica Ciclón O Chimenea	46
Tabla 16: Ficha Técnica Tanque De Almacenamiento	46
Tabla 17: Ficha Técnica Filtro Prensa	47
Tabla 18: Ficha Técnica Refractómetro.....	48
Tabla 19: Ficha Técnica Visores.....	48
Tabla 20: Ficha Técnica PH-Metro.....	49
Tabla 21: Ficha Técnica Tanque De Agua	50
Tabla 22: Ficha Técnica Termómetro Digital	51
Tabla 23: Ficha Técnica Torre De Enfriamiento.....	52
Tabla 24: Ficha Técnica Torre Despojadora.....	53
Tabla 25: Ficha Técnica Torre Rectificadora	54
Tabla 26: Costo General De Operación	88
Tabla 27: Costo De Recursos Humanos	89
Tabla 28: Costo De Funcionamiento Equipos	90
Tabla 29: COSTO DE MATERIALES E INSUMOS	91
Tabla 30: Costos De Transporte	91

INDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Vista satelital geo-referenciacion tecno-parque Yamboro.....	20
Imagen 2: Mapa ubicación tecno-parque Yamboro	20
Imagen 3: Vista frontal de la planta	30
Imagen 4: Vista lateral de la planta.	30
Imagen 5: Vista posterior de la planta..	31
Imagen 6: Vista interior de la planta.....	31
Imagen 7: Geo-referenciacion satelital de las fincas.....	63

INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente preocupación por el agotamiento de los recursos fósiles de donde se han obtenido los combustibles y el deterioro del ecosistema a causa de la extracción de estos materiales y la contaminación generada por su transformación y uso; se inició una búsqueda de alternativas para la producción de energías limpias que produjeran menos contaminación y que permitieran el aprovechamiento de otros recursos y de esta manera reducir el impacto sobre el ecosistema; fue así como inicio la producción de combustibles con bases vegetales como la caña, el bore, la yuca, la arracacha, el maíz entre otros y de subproductos de otros materiales, como el bagazo y la cascara del plátano, el mucilago de café y otros; por eso, y para contribuir con esta iniciativa y dar solución al problema de contaminación de las cuencas hídricas de la región, producida por el vertimiento de las mieles del café, resultado del proceso de beneficiado o despulpado del grano, se planteó en el tecno-parque Yamboro del SENA en el municipio de Pitalito el proyecto de construcción de una planta artesanal donde se produjera etanol a partir del mucilago de café, proyecto que tuvo un impacto tal que le mereció al SENA Pitalito ganar el concurso de ciencia y tecnología, que permitió la consecución de los recursos para la construcción de una planta semi-industrial para la producción de biocombustibles y aceites esenciales, que se construyó en el año 2012 e inicio operación en el año 2013 con la producción de etanol a partir de caña de azúcar y mucilago de café.

Con lo que se logró la estandarización de procesos para obtener etanol a partir de caña de azúcar, sin embargo no se logró lo mismo con el mucilago de café, por este motivo se desarrolló en esta planta el proyecto de estandarización de los procesos de tratamiento, pasteurización, fermentación y destilación de mucilago de café para la producción de etanol, lo que permitió la construcción de este documento, donde se describe la distribución de la planta y los equipos, los equipos, materiales y métodos empleados en los procesos desarrollados; las sugerencias realizadas y el planteamiento de nuevos procesos para la producción de etanol a partir del mucilago de café, contribuyendo con la optimización del funcionamiento de la planta.

En este proyecto se realizó la estandarización de los procesos de tratamiento, pasteurización, fermentación y destilación del mucilago de café para la producción de etanol en la planta de biocombustibles y aceites esenciales, del tecno-parque Yamboro, del SENA en Pitalito Huila.

Este proyecto permitió poner en práctica conocimientos de Ingeniería Industrial, adquiridos en el proceso de formación en la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Mediante la observación y el estudio detenido de las etapas y los procesos desarrollados en la planta, que actualmente produce etanol a partir de la caña de azúcar; para a partir de estos, realizar el diseño operativo para la producción de etanol a partir del mucilago de café; partiendo de la consecución, recepción y manejo de las materias primas, luego de los diferentes tratamientos como pruebas de calidad, tamizado, pasteurizado, inoculado, fermentación y finalmente el proceso de destilación.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la planta de biocombustibles y aceites esenciales del tecno-parque Yamboro del SENA, en Pitalito Huila, se produce etanol a partir de caña de azúcar y mucilago de café; y se han estandarizado los procesos para la producción con caña, mas no para el mucilago de café por tal motivo se planteó el desarrollo de este proyecto, en el que se propone estandarizar los procesos de tratamiento, pasteurización, fermentación y destilación del mucilago de café para la producción de etanol y de esta manera contribuir con la optimización de la operación de la planta.

Con la producción de etanol a partir de mucilago de café en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro, además de generar alternativas económicas de producción de combustibles y contribuir con la formación de los aprendices del SENA mediante la aplicación de los conocimientos a partir de la práctica, se quiere reducir el deterioro del entorno ecológico de la zona, producido por la contaminación de las cuencas hídricas de la región, causada por el vertimiento de las mieles producto del beneficio o despulpado del café (mucilago), que generaba afectación no solo de los cultivos si no de la salud de los residentes de las fincas que obtienen el agua de estas fuentes hídricas, debido al deterioro de la potabilidad de la misma a causa de los ácidos y cenizas contenidas en el mucilago.

La estandarización de los procesos de producción de etanol a partir del mucilago de café, permite la reproducción exitosa de los mismos, garantizando la continuidad en la producción optima y de calidad en la planta y de esta manera mejorar el funcionamiento general de la misma.

1.1. ANTECEDENTES

Debido al deterioro en la calidad del agua que se obtenía de la quebrada guachico que se contaminaba con los residuos del despulpado del café, que los caficultores de la región vertían en esta, en el tecno-parque Yamboro, se planteó una alternativa, para no solo corregir este problema, sino además, para reaprovechar estos subproductos en la producción de etanol, fue así como en el año 2011 se construyó una planta artesanal para la producción de etanol a partir de la caña de

azúcar y el mucilago de café, experiencia que tuvo un éxito tal que mereció el apoyo para la construcción de una planta semi-industrial, con capacidad de producción de etanol hidratado de 94% de alcohol, de 100 litros/10 horas, que fue diseñada a partir de estudios e investigaciones realizadas en el SENA, sobre los requerimientos de las plantas de este tipo; y construida en el año 2012 por contratistas de la ciudad de Cali, con experiencia en el diseño, construcción y mantenimiento de refinerías y oleoductos; con un costo de trecientos millones de pesos (\$300'000.000) en la infraestructura y trecientos millones de pesos (\$300'000.000) invertidos en maquinaria y equipos.

En el año 2013 la planta inició operaciones gracias al trabajo conjunto de los titulados de biodiversidad, automatización, mecánica industrial y producción de bio-combustibles, obteniendo excelentes resultados en la producción de etanol a partir de la caña de azúcar; pero los resultados con el mucilago no fueron los esperados, pues la cantidad de etanol obtenida era muy inferior a la esperada, con unos porcentajes de alcohol demasiado bajo para la capacidad de la planta de apenas 40%, debido quizá al hecho de emplear los mismos procesos de la caña, para el mucilago, lo que no es apropiado, puesto que estos dos materiales difieren en densidad, porcentaje de azúcares, PH, tiempos de fermentación; de ahí la necesidad de plantear procesos adecuados para la transformación del mucilago de café en etanol, por esa razón en este proyecto se planteó la estandarización de los procesos de tratamiento, pasteurización, fermentación y destilación del mucilago de café para la obtención de etanol, con el fin de contribuir a la construcción de los protocolos de producción de etanol con mucilago.

2. JUSTIFICACIÓN

La finalidad de este proyecto es suplir la necesidad de estandarizar los procesos de tratamiento, pasteurización, fermentación y destilación del mucilago de café para la producción de etanol en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro del SENA en el municipio de Pitalito; desde una perspectiva industrial mediante la aplicación de procesos de ingeniería industrial que permita el planteamiento de procesos óptimos en la planta, generando un mejor aprovechamiento de la infraestructura, los equipos y la maquinaria con que cuenta, además de lograr la articulación adecuada de los diferentes procesos desarrollados dentro de esta planta, haciendo más eficiente y eficaz la realización de los mismos, contribuyendo así a mejorar su rendimiento y productividad.

2.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La planta de biocombustibles de Yamboro, cuenta con equipos de tecnología óptima para el propósito previsto por el SENA. Sin embargo al no tener estandarizados los procesos de producción de etanol a partir de mucilago de café, disminuye la eficiencia de este proceso y el de la planta.

La razón fundamental que motivo emprender esta investigación fue corroborar la efectividad de la teoría adquirida en la universidad frente a situaciones del contexto real y poder aportar soluciones efectivas que contribuyeran a la solución del problema, mediante el diseño y aplicación de procesos productivos de tipo industrial.

2.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Desde luego que la investigación del problema que afecta la eficiencia de la planta de producción de biocombustibles del SENA Pitalito mereció hacer el trabajo de observación metodológica y un análisis de caso para identificar los requerimientos de las diferentes etapas del proceso.

Se estimó la urgencias de plantear los métodos o estrategias para generar

conocimiento válido y confiable sobre el funcionamiento y aplicabilidad de estos equipos en la producción de combustibles con base vegetal, por lo que al estandarizar los procesos para la producción de etanol a partir del mucilago de café se quiso contribuir en la consecución de los objetivos planteados, de forma que estos esfuerzos contribuyeran a optimizar la operatividad de la planta.

2.3. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Con el planteamiento de este proyecto, además de aplicar los conocimientos adquiridos en el proceso de formación profesional en la UNAD, para poder lograr el título de ingeniero industrial, se tuvo la posibilidad de generar soluciones concretas a problemas reales.

Está plenamente comprobado que cuando se diseñan estrategias basadas en el conocimiento, los resultados siempre serán favorables y este caso no fue la excepción.

Es evidente que si no se cuenta con unos procesos productivos bien definidos y acordes al proceso de transformación de la materia prima los resultados obtenidos en la producción no podrán satisfacer los estándares de calidad ni mantener niveles óptimos de producción.

La aplicabilidad de los resultados del estudio y la importancia objetiva de analizar los hechos que los constituyen propicio la posibilidad de llegar a conclusiones lógicas de su solución con la seguridad que ayudaron a resolver un problema.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Estandarizar los procesos de tratamiento, pasteurización, fermentación y destilación de mucilago de café para la producción de etanol en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro del SENA en el municipio de Pitalito.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de la distribución de la planta, los equipos y métodos utilizados en la producción de etanol a partir de mucilago de café.
- Replantear los procesos de tratamiento, pasteurización, fermentación y destilación del mucilago de café para la producción de etanol en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro en el municipio de Pitalito.

4. MARCOS DE REFERENCIA

4.1. MARCO TEÓRICO

Datos tomada de¹:

Hace más de 100 años, Rudolf Diesel tuvo la inventiva de crear un motor que funcionara a base de aceite de cacahuete, y de esto se tuvo la derivada “gasóleo”, pero los bio-carburantes estaban más accesibles y se optó por su uso.

Hacia 1908, Henry Ford para su modelo T, utilizaba el etanol como fuente de combustible para su funcionamiento.

Hacia los años 20 la compañía Standard Oil Company, hizo la comercialización de 25% de etanol en gasolina, pero los altos costos en el maíz, causo el aborto del proyecto.

Hacia los años 30 , Ford y su fuerza de expertos construyeron una planta de fermentación en Kansas, la cual fabricaba 38.000 Lts diarios de automoción, hasta que llegaron a las 2000 estaciones de servicio, en donde vendían el etanol a base de maíz (Gasol); hacia los años 40's hubo una alta competencia, lo que ocasiono el cierre de las plantas de producción de etanol; en los 70's, década que fue marcada por la crisis del petróleo, los Estados Unidos experimento la mezcla de etanol con gasolina y de esta manera pudieron comprobar que posiblemente esta era la alternativa para disminuir los niveles de agotamiento de los recursos naturales renovables; hacia los 80's se comenzó a sustituir el 25% de la gasolina por bio-etanol, lo cual se expandió por varios lugares de Europa especialmente en Italia, Alemania, Francia y Austria.

Historia de los biocombustibles en Colombia:

La historia de los biocombustibles en Colombia se remonta hasta sus inicios en el año 1942, gracias al proyecto de ley propuesto por el representante a la cámara Luis B. Ortiz, el cual afirma que hay que imponer el “empleo de alcoholes de caña de azúcar y yuca, mezclados con la gasolina” , pero la multinacional Tropical Oil Company se encargó de hacer fracasar el proyecto; Hacia los 80's, el país determino que estaba en un déficit en materia energética ya que no podría seguir teniendo buenas dinámicas de desarrollo si no se encontraba una solución audaz a corto mediano o largo plazo y de esta manera tampoco intervenir con el déficit

¹ Malagon Osorio, Paula Andrea. 2012. Generalidades de los biocombustibles. Biocombustibles 2012. [En línea] Octubre de 2012. [Citado el: 12 de Abril de 2014.]
<http://biocombustibles2012.blogspot.com/p/marco-legal.html>.

económico del país.

Hacia 1999 un grupo de colombianos que impulsados por el deseo de preservar un ambiente sano, propusieron un proyecto de ley que imponía el uso obligatorio de etanol en la gasolina siguiendo tres parámetros:

- 1) La necesaria reducción de la dependencia de hidrocarburos.*
- 2) El mejoramiento de la calidad de emisión de gases del efecto invernadero.*
- 3) La generación de empleo rural justamente remunerado creado en la cadena agroindustrial.*

Y gracias a esto, se pudo empezar la tramitación del proyecto dando como inicio la ley 693 de 2001; y en el gobierno del ex presidente Álvaro Uribe Vélez, se instauró el proyecto de ley que propone la producción de biodiesel en Colombia.

También llamados bio-carburantes, los biocombustibles son una mezcla de diferentes hidrocarburos que se unen formando una sustancia (combustible), que se deriva de la biomasa la cual, a través de un proceso biológico espontáneo o provocado se puede aprovechar como una fuente de energía, ya sea energía eléctrica o combustible para motor.

Se distinguen 4 generaciones de biocombustibles:

Primera Generación:

En esta generación se toma como base los productos agrícolas, como plantas con alto contenido de azúcares, almidones y aceites; como por ejemplo la caña de azúcar, el maíz, la remolacha o betabel, el girasol, la soya, la palma, el ricino, el coco, la semilla de algodón, el maní o cacahuate, entre otros.

También se puede obtener gracias a las grasas animales, grasas de aceite y desperdicios sólidos orgánicos.

Los biocombustibles son producidos empleando tecnología convencional como la fermentación (para azúcares y carbohidratos), transesterificación (para los aceites y las grasas), y la digestión anaerobia (para los desperdicios orgánicos). De estos procesos se obtiene el etanol, metanol, y n-butanol(a partir de azúcares), biodiesel (a partir de los aceites), y biogás (mezcla de metano y anhídrido carbónico, también conocidos como gas natural y dióxido de carbono respectivamente, obtenida a partir de los desperdicios orgánicos).

Segunda Generación:

En esta generación se toma como base los residuos agrícolas y forestales compuestos de celulosa, como por ejemplo el bagazo de la caña de azúcar, el rastrojo de maíz, paja de trigo, aserrín, hojas y ramas secas de árboles.

Los procesos de producción tienen un alto nivel de complejidad, entre los que se destacan la sacarificación-fermentación y el proceso GTL (Gas To liquids) y proceso BTL (Biomass To Liquids), los cuales consisten en la gasificación del carbón y de la materia lignocelulósica de la biomasa, para después sintetizar algún combustible líquido como el etanol. Mediante los procesos de segunda generación

se fabrica el etanol, metanol, gas de síntesis (mezcla de anhídrido carbonoso, más conocido como monóxido de carbono, e hidrogeno) biodiesel, dimetulfurano (DMF) entre otros.

Tercera generación:

En esta generación se toma como base vegetales no alimenticios de crecimiento rápido ya que estos contienen una alta densidad energética almacenada en sus componentes químicos, por lo cual son denominados como “cultivos energéticos”, como por ejemplo pastos perennes, árboles y plantas de crecimiento rápido, y las algas verdes o verde-azules.

La obtención de biocombustibles se encuentra en etapa de desarrollo, sin embargo, se ha podido producir biodiesel y etanol, a nivel de planta piloto.

Cuarta Generación:

En esta generación se toma como base la producción a través de bacterias genéticamente modificadas, las cuales emplean anhídrido carbónico (CO₂= o alguna otra fuente de carbono para la obtención de los biocombustibles).

A diferencia de las otras generaciones en las que también se pueden implementar bacterias y organismos genéticamente modificados como insumo para realizar alguna parte de los procesos, en esa generación, la bacteria es la encargada de toda la producción del biocombustible.

Actualmente esta generación de combustibles se encuentra en fase teórica, solo se conoce la posible ruta de síntesis del etanol a partir del anhídrido carbónico, sin embargo depende totalmente de la información genética de una bacteria artificial y puede tener limitaciones termodinámicas importantes.

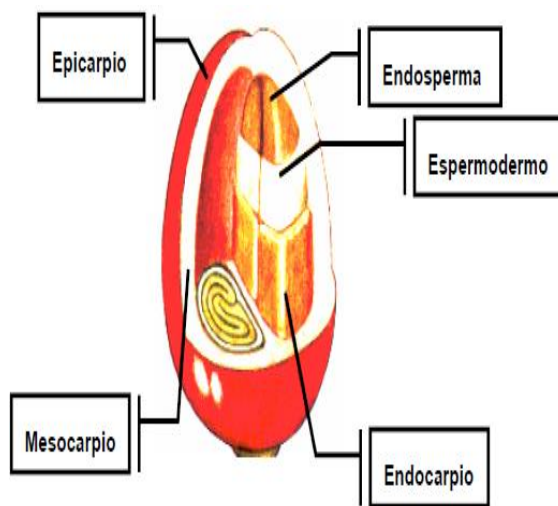
Como es sabido, la humanidad ha hecho uso de la biomasa por varios miles de años. El uso directo de la misma sin procesamiento alguno podría constituir una generación Cero de los biocombustibles, entre los cuales se pueden mencionar la paja de trigo, el rastrojo de otras plantas de cultivo, el estiércol del ganado y el carbón vegetal.

Teniendo en cuenta que los biocombustibles son cualquier tipo de combustible en cualquier estado (líquido, sólido, gaseoso) que se crea a base de biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal) tiene como derivados El bio-etanol, el metanol, el biodiesel y el biogás.

Subproductos del café:

Datos tomados de²:

² (Sarasty Zambrano, 2012)



El mucilago es un subproducto del café que se genera en el proceso de beneficiado y al que generalmente no se le da un tratamiento apropiado por lo que produce contaminación de los suelos y las aguas, pues es desechado vertiéndolo en el suelo o directamente en las cuencas hídricas; por lo que en aras de disminuir la contaminación causada por el mismo se inició la búsqueda de métodos que permitieran darle un uso productivo aprovechándolo como alimento para bovinos y porcinos, abono

orgánico y como fuente de energía directa, en forma de gas o como combustible destilándolo para obtener etanol.

La contaminación generada por los procesos de producción de café en muchos casos sobrepasa la generada por otras operaciones, por ejemplo en el tratamiento y procesamiento de un millón de sacos de 60 Kg de café se producen aproximadamente 55.500 toneladas de mucilago fresco, que al no ser manejados correctamente o aprovechados generan una contaminación similar a los vertientes de excretas de orina por una población de 310.000 habitantes en un año

El procesamiento del grano de café para la producción de la bebida genera como subproducto residual mucilago, el cual se genera en la etapa de beneficiado o despulpado denominado desmucilaginado, donde se separa la semilla, la cascarilla, la pulpa y el mucilago, este último representa alrededor de 14,85% del peso total del fruto, posee 35,8% de sustancias pépticas, el 17% está representado por celulosa y cenizas y el 45.8% son azúcares.

Adicionalmente la pulpa tiene un contenido de azúcares cercano al 17% en base seca, todo este material se desperdicia o vierte al ambiente.

En volumen por cada kilogramo de cereza sin seleccionar se produce 91 ml de mucilago fermentado, su producción media es de 768 Kg/Ha año.

Para lograr una idea de la contaminación generada por el no aprovechamiento del mucilago se debe tener en cuenta primero que Colombia es un país eminentemente cafetero, aportando el 7% de la producción mundial de café y

segundo que el beneficiado de un kilogramo de café produce la misma contaminación generada por 5.6 personas al día, con esto en mente se puede estimar la importancia de generar alternativas para el aprovechamiento del mucilago, como la producción de etanol a partir de este subproducto; se estima además que al procesar el grano de café para la producción de la bebida se aprovecha menos del 5% de la biomasa generada, el 95% restante se queda en los residuos o subproductos generados, estos subproductos están representados en materiales lignocelulósicos, frutos verdes que se caen durante la recolección o se sacan de la masa del café recolectado, pulpa que equivale al 44% del fruto fresco y mucilago.

En Colombia se ha planteado que uno de las maneras de aprovechar estos subproductos del café es su utilización como combustible directo, Porres, citado por Sarasty Zambrano en su trabajo “Alternativas de tratamiento del mucilago residual producto del beneficiadora del café”. Reporta un poder calorífico de 15.88 MJ/Kg de pulpa seca.

Otros autores señalan que estos subproductos también se puede aprovechar en sistemas de combustión a gas o para la producción de energía eléctrica por medio de tuberías o plantas generadoras a gas; en investigaciones llevadas a cabo por Calle reporta rendimientos de 25 litros de biogás por 1 Kg de pulpa fresca alimentada a los digestores, el poder calorífico con un contenido de metano de 60% es de 21,46 KJ/L con un valor para la pulpa fresca de 0,54MJ/Kg.

También se realizaron investigaciones sobre la obtención de etanol mediante la fermentación y destilación de la pulpa y el mucilago de café, encontrando que de 100 Kg de café cereza se puede obtener 6% de melaza por medio de la extracción y concentración del jugo de la pulpa y el mucilago con un contenido de 35% de azúcares totales y 6,9% de cenizas, además que por fermentación se pueden producir en promedio 1.2 litros de etanol con una concentración de alcohol del 85%, lo que equivale a 500 litros de etanol por cada 1000 arrobas de café pergamino procesado.

Por otra parte Rodríguez en CENICAFE implementó varias etapas de levadura en la fermentación de la pulpa y el mucilago, encontrando un promedio de 25,17 ml de etanol por Kg de pulpa fresca alcanzando una capacidad calorífica de 0,53 MJ/Kg.

Lo que se ha querido con estos estudios e investigaciones es impulsar la producción de biocombustibles a partir de los subproductos del café como una alternativa que además sea económicamente viable para la reducción de la contaminación generada por el mal manejo de los residuos generados por la producción de café.

Es así como la producción de etanol a partir del mucílago de café constituye una pieza importante de la iniciativa de reaprovechamiento óptimo de los subproductos del café.

Zambrano (1994) reporta que por cada kg de DQO aplicado al proceso de digestión anaerobia, se generan 228 litros de metano, el cual tiene un poder calorífico de 35,784 KJ/l Sasse (1984), generando 1,31 MJ/kg de mucílago fresco. Rodríguez (2007).

En los estudios de fermentación alcohólica, realizados en CENICAFE, se encontró un valor promedio de 58,37 ml de etanol a partir de 1 kg de mucílago fresco, equivalente a 1,25MJ/kg de mucílago fresco, valor muy cercano al alcanzado en forma de biogás. Rodríguez (2007).

Citado de (Garcia Bure, 2013):

4.2. MARCO CONTEXTUAL

El proyecto se desarrollara en la planta de biocombustible y aceites esenciales, ubicada en el tecno-parque agroecológico del SENA, localizado en la vereda Yamboro del municipio de Pitalito en el departamento del Huila, ubicado a 7.3 kilómetros del casco urbano, a una altura de 1300 metros sobre el nivel del mar donde se realiza la formación de los aprendices inscritos en los diferentes técnicos y tecnólogos que oferta el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, que hoy en día cuenta además de la planta con lagos, bio-digestor, celdas de compost, senderos ecológicos y cultivos agroecológicos, planta de tratamiento de agua entre otras cosas.



Imagen 1: Vista satelital geo-referenciacion tecno-parque Yamboro. (Fuente el autor)

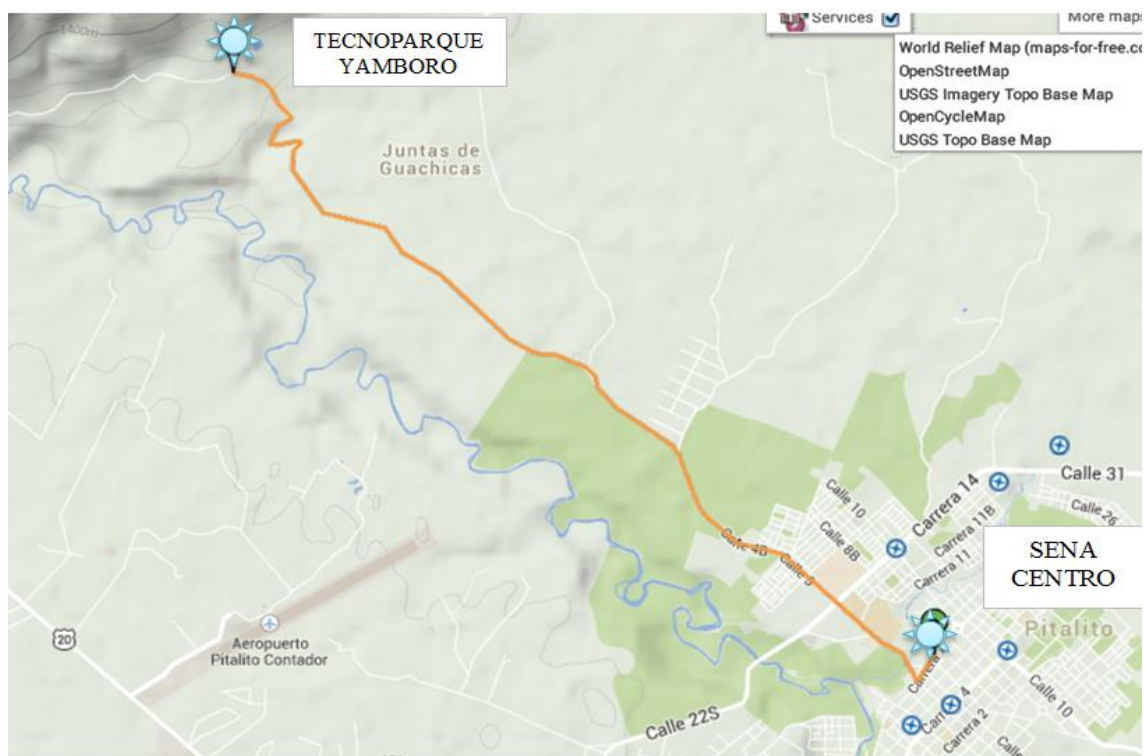


Imagen 2: Mapa ubicación tecno-parque Yamboro. (Fuente el autor)

Dentro de las instalaciones de la planta de bio-combustibles y aceites esenciales del tecno-parque Yamboro se encuentra la planta de producción de etanol, la planta de producción de bio-diesel, la planta de producción de aceites esenciales , un laboratorio, un almacén de suministros, un almacén de equipos de protección personal y un vestir con ducha.

La planta de producción de etanol cuenta con un tanque de almacenamiento de 1000 litros en aluminio, un filtro prensa manual de 8 placas con manómetros y válvulas para medición de presión, con capacidad aproximada de retención de solidos de 5 litros, con motobomba de 10 litros por minuto, medidor de presión y válvula de despresurizado en la parte superior, un sistema de pasteurización de 2 intercambiadores de temperatura tubulares de placas para el calentamiento y enfriamiento con enchaquetado en la torre de calentamiento que garantiza un mínimo de 130 °C; válvulas, tuberías de alimentación para vapor de 1/2", agua y materia prima con de 1 1/2", medidores de temperatura, cuatro tanques plásticos de 1000 litros para fermentación, una caldera vertical acua-tubular de 10 BHP con capacidad de 100 Kg/H de vapor, combustible leña o bagazo, cámara de combustión y de cenizas, presión de operación aproximada 30 PSI con válvula de seguridad, medidor de nivel de agua manual y automático con bomba para regulación automática, tanque de almacenamiento de agua de 500 litros con conexiones hidráulicas de entrada y salida, tanque de condensados, un tanque de agua en hierro con soporte metalico con capacidad de 300 litros, visor externo de llenado, motobomba de 100 litros por minuto y valvulas de entrada y salida, una chimenea de 5 Mts en acero inoxidable, con extractor de combustión y motor, sombrero tipo chino, y soporte metálico, una torre de enfriamiento con flujo de 80 litros por minuto en contracorriente con poseta de fondo, bomba para agua y ventilador axial para suministro de aire con sus respectivos arrancadores, una torre despojadora de vinazas de 3.5 metros en acero inoxidable, cabezal inferior con nivel y visor a contraluz y entrada de vapor directo, toma de P y de T, en acero inoxidable, aislado térmicamente; cabezal superior con salida de vapores y entrada de reflujo, toma de P y T, en acero inoxidable, aislado térmicamente; Tramo de columna flanchado, con plato redistribuidor, rociador y entrada de mosto, aislado térmicamente; Arreglo de platos perforados en acero inoxidable; filtro de Mosto; Ducto de conexión de vapores a rectificadora, una torre rectificadora de alcohol de 6 metros, empacada en anillos cascada miniring en acero inoxidable con válvula reguladora de vapor; cabezal inferior con nivel, visor a contraluz y termómetro, entrada de vapor directo y válvula de vaciado, toma de P y T, en acero inoxidable, aislado térmicamente; cabezal superior con visor a contraluz, salida de vapores y entrada de reflujo, toma de P y de T, en acero

inoxidable, aislado térmicamente; tramo de columna flanchado, con plato redistribuidor, rociador y entrada de mosto, aislado térmicamente; Empaque de cascade mini-ring; ducto de conexión de vapores a condensador; Condensador tubular en cobre, enfriador de serpentín en cobre; Enfriador de tubo aleteado; estructura de soporte en ángulo HR, un tanque pre-calentador de acero inoxidable con capacidad de 100 litros, válvulas de entrada y salida para vapor, con tuberías de conexión desde los tanques de fermentación a la torre destiladora, tres condensadores de acero inoxidable enfriadores de etanol producido, con tuberías y sistemas de alimentación y control de agua y producto terminado, con visores externos de vidrio con capacidad de un litro, cuatro motobombas de 1 caballo de fuerza de 220 voltios, además de las tuberías, válvulas que permiten la circulación de los líquidos de los que se obtiene el etanol; cuenta también con motores, conexiones y tomas eléctricos que dan energía e impulsan todo el sistema de destilación, un biorreactor con 3 unidades de reactores enchaquetados para realización de reacciones químicas y fermentaciones en laboratorio con capacidad mínima de 5 litros cada unidad, con mirilla vertical de inspección exterior, sistema de agitación variable de 8 a 300 RPM con dos turbinas tipo Roushton por eje independiente para cada unidad, dos resistencias eléctricas trifásicas de 1000 W c/u para calentamiento con sistema de control variable para temperatura, medición de temperatura mediante termómetro de caratula de 2 ½ " rango: 0 – 150 °C con termo pozo para cada unidad, llave para muestreo en la parte inferior, tubo para recolección de CO₂ con válvula conectado a un recipiente transparente de 1L, tapa con cierre hermético fácilmente desmontable con férula tipo tri clamp 6", llave de paso en la parte superior para la aplicación de vacío o presión, válvula de seguridad tipo tornillo calibrada a 25 psi, puertos de salida y conexiones a tuberías tipo tri clamp ½".tablero de control norma NEMA 4X y operación con señalización, sistemas eléctricos y estructura de soporte con pintura anticorrosiva y epoxica; además en esta planta se encuentran las plantas de biocombustibles con soporte metálico, tablero de control, un tanque para aceites naturales, uno para metanol y uno para recepción, motobomba con capacidad de 5 litros por minuto y la de aceites esenciales construido en acero inoxidable con un horno de gas, una torre de evaporación y una torre de condensado con sistemas de hidratación.

4.3. MARCO CONCEPTUAL

Datos tomados de³:

- *Etanol: Líquido incoloro e inflamable, de olor fuerte que se obtiene por destilación de productos de fermentación de sustancias azucaradas o feculentas, como la uva, la melaza, la remolacha o la papa, forma parte de numerosas bebidas (vino, aguardiente, cerveza, etc.) y se emplea principalmente como desinfectante.*
- *Metanol: Líquido incoloro y muy tóxico, obtenido por destilación de la madera a baja temperatura o mediante la reacción del monóxido de carbono y el hidrógeno, que se emplea para desnaturalizar el alcohol etílico y como aditivo de combustibles líquidos.*
- *Biocarburante: Es una mezcla de hidrocarburos que se utiliza como combustible en los motores de combustión interna. Deriva de la biomasa, materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía.*
- *Biocombustible: Se entiende por biocombustibles, al Biodiesel, Bio-etanol y Biogas que se produzcan a partir de materias primas de origen agropecuario, agroindustrial o desechos orgánicos.*
Estos usan la biomasa vegetal sirviendo de fuente de energía renovable para los motores empleados. Su uso genera una menor contaminación ambiental y son una alternativa viable al agotamiento ya sensible de energías fósiles, como el gas y el petróleo, donde ya se observa incremento sostenible en sus precios. Es importante destacar que los BIOCOMBUSTIBLES son una alternativa más, en vistas a buscar fuentes de energías sustitutivas, que sirvan de transición hacia una nueva tecnología (ej. Hidrógeno).
- *Biogás: Es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita.*
- *Biodiesel: Es un biocombustible líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, con o sin uso previo, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación, y que se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petro-diésel o gasóleo obtenido del petróleo.*

³ Malagon Osorio, Paula Andrea. 2012. Generalidades de los biocombustibles. Biocombustibles 2012. [En línea] Octubre de 2012. [Citado el: 12 de Abril de 2014.]
<http://biocombustibles2012.blogspot.com/p/marco-legal.html>.

- *Biomasa: Cantidad de productos obtenidos por fotosíntesis, susceptibles de ser transformados en combustible útil para el hombre y expresada en unidades de superficie y de volumen.*
- *Biol: Cantidad total de materia viva presente en una comunidad o ecosistema.*
- *Mosto: Jugo exprimido de la uva destinado a la elaboración de vino; el termino se aplica también a los líquidos extraídos de materia alternativas o biomasas.*
- *Levadura: Microorganismo que pertenece a la familia de los ascomicetos utilizada en la fermentación alcohólica.*
- *Ph: Es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución, indica la concentración de iones hidronio $[H_3O]^+$ presentes en determinadas disoluciones, la sigla significa (potencial hidrógeno), (potencial de hidrógeno) o (potencial de hidrogeniones).*
- *Densidad: Hace relación de la masa sobre el volumen de una sustancia o un compuesto.*
- *Destilación: Proceso por el que la sustancia volátil de una mezcla se separa de otra que no lo es mediante evaporación y posterior condensación de la misma.*
Destilación fraccionada Separación sucesiva de los líquidos de una mezcla aprovechando la diferencia entre sus puntos de ebullición.
- *Fermentación: Proceso bioquímico por el que una sustancia orgánica se transforma en otra, generalmente más simple, por la acción de un fermento.*
- *Pasteurización: Procedimiento que consiste en someter un alimento, generalmente líquido, a una temperatura aproximada de 80 grados durante un corto período de tiempo enfriándolo después rápidamente, con el fin de destruir los microorganismos sin alterar la composición y cualidades del líquido.*
- *Bioreactor: Es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo. En algunos casos, un biorreactor es un recipiente en el que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias bioquímicamente activas derivadas de dichos organismos.*
- *Inoculación: Siembra de un microorganismo en un sustrato.*

4.4. MARCO LEGAL

Datos tomados de⁴:

- *Ley 693 del 2001: Las gasolinas que se utilicen en el país tendrán que contener compuestos oxigenados tales como alcoholes carburantes.
Se decretó que el uso del alcohol carburante recibirá un tratamiento especial en las políticas sectoriales de autosuficiencia energética, de producción agropecuaria y de generación de empleo.
El gobierno nacional, mediante la expedición de esta ley, estableció que la gasolina colombiana debía tener elementos oxigenados que disminuyeran las emisiones nocivas para el medio ambiente. Se propone el uso de una mezcla del 90% de gasolina y un 10% etanol, para cumplir con la normatividad; ya que gracias a esto, se pueden reducir las emisiones de gases nocivos para la atmosfera y se preservaría y mejoraría un poco el equilibrio ecológico y se preservarían un poco más los recursos del planeta.*
- *Ley 939 de 2004: Artículo 8: El biocombustible de origen vegetal o animal para uso en motores diesel de producción nacional con destino a la mezcla con ACPM estará exento del impuesto a las ventas.*
 - *Artículo 9: El biocombustible de origen vegetal o animal para uso en motores diesel de producción nacional que se destine a la mezcla con ACPM estará exento del impuesto global al ACPM.*
- *Ley 1208 de 2008: Por medio de la cual se mejora la calidad de vida a través de la calidad del diesel y se dictan otras disposiciones:*
 - *Artículo 1: Con el propósito de mejorar la calidad de vida y garantizar el derecho constitucional al goce de una ambiente sano, declárese de interés público colectivo, social y de conveniencia nacional, la producción, importación, almacenamiento, adición y distribución de combustibles diesel, que minimicen el impacto ambiental negativo y que su calidad se ajuste a los parámetros usuales de calidad internacional.*
- ✓ *Parágrafo 1: Para el efecto los ministerios de minas y energía y de medio ambiente , vivienda y desarrollo territorial o cualquier entidad que los reemplace en las funciones referentes a la calidad de los combustibles, deben expedir la*

⁴ Malagon Osorio, Paula Andrea. 2012. Generalidades de los biocombustibles. Biocombustibles 2012. [En línea] Octubre de 2012. [Citado el: 12 de Abril de 2014.]
<http://biocombustibles2012.blogspot.com/p/marco-legal.html>.

reglamentación que conduzca mejorar la calidad del diesel, mediante la disminución progresiva de los niveles de azufre presentes en dicho combustible hasta alcanzar los estándares internacionales que indican que dichos niveles deben ser inferiores a 50 partes por millón (ppm).⁹

Esto quiere decir que para seguir mejorando la calidad del diesel, se deben disminuir los niveles de azufre para así poder alcanzar los estándares internacionales los cuales afirman que deben tener una inferioridad a 50 partes por millón.

Teniendo en cuenta, que estas son las principales leyes que rigen los biocombustible en Colombia con respecto a su producción, mejora y composición; se puede hacer un balance efectivo de la labor colombiana con respecto al equilibrio ecológico, puesto que de esta manera, se sustituyen muchos de los gases malignos para el ambiente, disminuyendo los porcentajes de contaminación proveniente de los automóviles, de los servicios de transporte del país, para que así los colombianos tengamos la oportunidad de hacer que los recursos que se están agotando, se preserven por un poco más; también hacer uso de un ambiente mucho más limpio y puro y que sea de una manera más orgánica, es decir, con el uso de material orgánico el cual no es nocivo para el ambiente.

5. METODOLOGÍA

Este proyecto se desarrolló en tres etapas; en la primera se realizaron visitas a la planta y recorridos dentro de la misma analizando cada etapa y cada proceso durante un mes para poder conocer y comprender el funcionamiento de la misma en la segunda etapa, que se desarrolló a partir del segundo mes se realizaron el planteamiento de los procesos de producción de etanol a partir del mucilago de café; en la tercera y última etapa se realizó un seguimiento a las procesos planteadas para observar la optimización de la operatividad de la planta, sobre lo cual se entregaron los respectivos informes.

5.1. ESQUEMA METODOLÓGICO

Este proyecto es de tipo experimental o aplicado, se desarrolló mediante observación participativa y permitió poner en práctica lo relacionado con la revisión y manejo de procesos de producción, tomando como lugar de práctica la planta de biocombustible y aceites esenciales del tecno-parque Yamboro del SENA, donde se revisaron los procesos de producción de etanol a partir del mucilago de café.

Durante el desarrollo de este proyecto se revisaron los procesos de aprovechamiento de biomasa como los subproductos del café en la producción de combustibles, mediante la observación de los procesos transformación del mucilago de café en etanol.

Este proyecto se desarrolló en la planta de biocombustibles y aceites esenciales del tecno-parque Yamboro del SENA, que tiene un porcentaje de producción actual de 75%⁵, de la capacidad de producción total de la misma.

Las variables de análisis en este proyecto son las condiciones óptimas del mucilago de café, además de las metodologías de tratamiento y procesamiento del mismo para la obtención de etanol.

⁵ Fuente SENA

5.2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

5.2.1. DIAGNÓSTICO

Se realizó una revisión general del diseño y distribución de la planta y los equipos, se revisaron y validaron las fichas técnicas de los equipos y se analizaron los procesos operativos de la planta, para la producción de etanol a partir del mucilago de café.

5.2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL DE PROCESOS

Se estandarizaron los procesos de tratamiento que implica, medición de grados Brix y filtrado; pasteurización, fermentación y destilación del mucilago de café para la producción de etanol.

5.3. VALIDACIÓN Y CONFIABILIDAD

La validación de los resultados de este proyecto se hizo mediante la realización de un ejercicio de destilación donde se observaron los cambios en los resultados de cada procedimiento propuesto.

5.4. PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los datos necesarios para el desarrollo de este proyecto se obtuvieron a través de la observación participativa mediante visitas a la planta, y fueron recopilados en informes y archivos fotográficos que registran y evidencian el desarrollo del proyecto, complementando este proceso con investigación y lectura de documentos relacionados con el tema, de los que se citan algunos apartes referenciados en la bibliografía de este documento.

6. RESULTADOS

Durante el desarrollo de este proyecto se logró dar cumplimiento a los objetivos específicos planteados que en conjunto permitieron a su vez cumplir el objetivo general de estandarizar de manera adecuada los procesos de transformación del mucilago de café en etanol.

Es así como gracias al análisis del diseño estructural de la planta, la distribución de los diferentes espacios y la ubicación de la maquinaria y los equipos empleados en las diferentes operaciones que se realizan en esta; que es, el primer objetivo planteado en este proyecto, el cual se cumplió al llevar a cabo recorridos de observación por la planta, la observación participativa de los procesos de destilación que se desarrollaban y la revisión de los equipos para validar las fichas técnicas; dicho análisis se ve evidenciado en el informe producto de estos ejercicios de observación, donde se presentan el plano general de la planta y el de distribución de los equipos, las fichas técnicas de los equipos además del recuento de la metodología de tratamiento y destilación del mucilago, que se empleaban.

En un segundo informe se ven reflejadas las modificaciones planteadas a los procesos desarrollados, modificaciones que se plantearon con base en las falencias observadas en la ejecución de los procesos y de conclusiones que se tomaron a partir de los resultados de los experimentos de fermentación e inoculación realizados en el laboratorio, de algunos ejercicios de tratamiento de la materia prima como el filtrado, datos que también se encuentran referenciados en este segundo informe; esto con el propósito de cumplir con el segundo objetivo de este proyecto.

A continuación se presentan los datos obtenidos en cada actividad.

Análisis general de la planta y los equipos:

Se realizó la revisión y el reconocimiento de la planta, de su estructura, su distribución y la de los equipos y las características de los mismos.

En las primeras visitas a la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro del SENA, se realizó la revisión, observación y diagnóstico de la planta con el fin de determinar el alcance de la propuesta y la manera como se desarrollaría.

Con esta observación se determinó que la planta cuenta con una infraestructura apropiada para el desarrollo óptimo de procesos de producción de etanol, que los espacios están bien distribuidos y la ubicación de la maquinaria y los equipos es acorde a la infraestructura y apropiada para la realización secuenciada de los procesos de transformación de materia prima.



Imagen 3: Vista frontal de la planta. (Fuente: el autor).



Imagen 4: Vista lateral de la planta. (Fuente: el autor).



Imagen 5: Vista posterior de la planta. (Fuente: el autor).



Imagen 6: Vista interior de la planta. (Fuente: el autor).

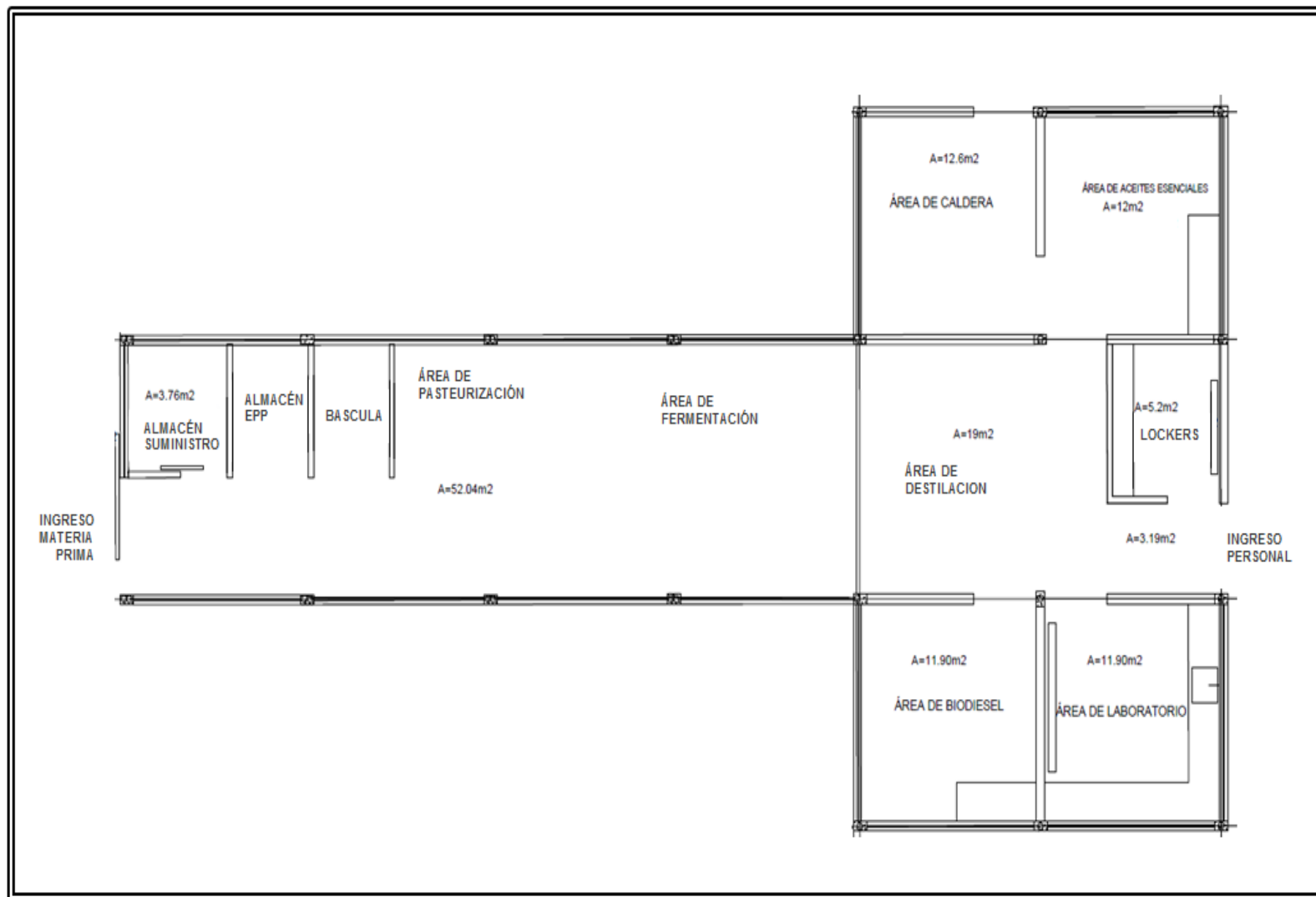


Figura 1: Plano de distribución general de la planta. (Fuente: el autor)

También se revisó la distribución de los equipos en los diferentes espacios de la planta, con lo que se determinó que dicha distribución es apropiada para la óptima realización de los procesos llevados a cabo en esta planta, pues permite conservar una secuencia desde el ingreso de la materia prima hasta el final de la destilación; esta revisión permitió también conocer las características de los diferentes equipos con que cuenta esta planta, los cuales cumplen con los requerimientos técnicos y mecánicos para la realización óptima de cada proceso dentro de la transformación del mucilago de café en etanol.

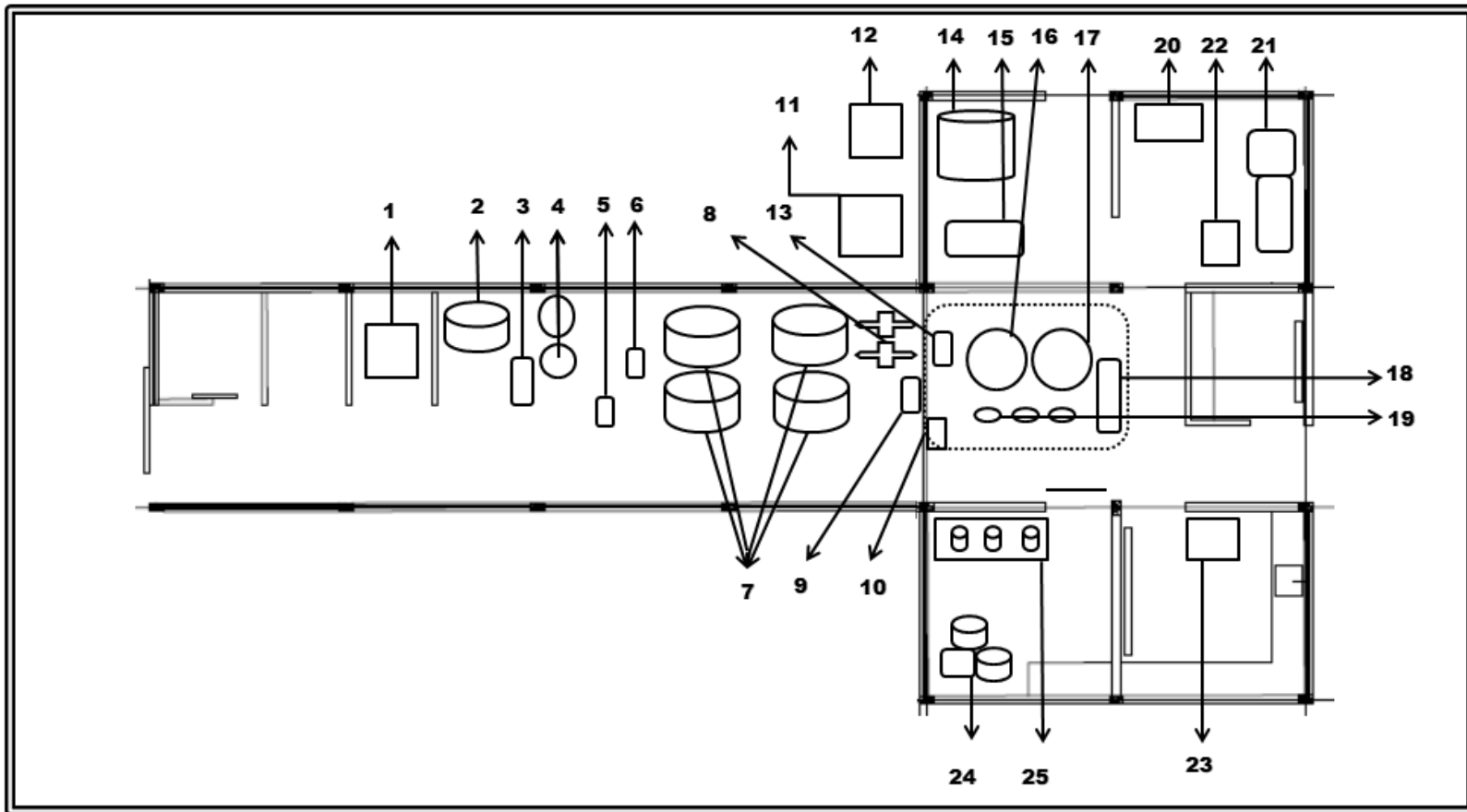


Figura 2: Plano de distribución de equipos. (Fuente el autor).

Tabla 1: descripción de los equipos de la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro. (Fuente: el autor)

CONVENCIÓN			
Nº	EQUIPO	FUNCIÓN	DESCRIPCION
1	Bacula	Pesar el material a procesar	Bacula portátil digital tipo LED con celda de carga, con capacidad de 0 a 1000 kg, funciones de acumulación, retención de peso estable, Auto-apagado, con cable y tablero de control digital, sistema de alimentación con baterías recargables y recarga con cable a 110 V, plataforma en lámina alfajor de alta resistencia de 100 x 100 cm.
2	Tanque almacenamiento	Calcular el volumen del mucilago.	Tanque de aluminio con capacidad de 500 litros, sistema de drenaje en la parte inferior y válvula de salida de 1 ½”.
3	Filtro-prensa	Eliminar los sedimentos que puedan quedar y enviar el mucilago a pasteurizadora.	De prensa manual de 8 placas con manómetros y válvulas para medición de presión, con capacidad aproximada de retención de solidos de 5 litros, con motobomba de 10 litros por minuto, con medidor de presión y válvula de despresurizado en la parte superior.
4	Pasteurizadora	Eliminar microorganismos.	Sistema de 2 intercambiadores de temperatura tubulares de placas para el calentamiento y enfriamiento con enchaquetado en la torre de calentamiento que garantiza un mínimo de 130 °C; válvulas, tuberías de alimentación para vapor de 1/2”, agua y materia prima con de 1 1/2”, medidores de temperatura.

5	Bomba de succión	Enviar el mucilago de la pasteurizadora a los tanques de fermentación.	Motobomba con capacidad de 100 litros por minuto, valvula de purgado y motor electrico de 220 V, de un caballo de fuerza.
6	Motor agitador	Impulsar las aspas dentro de los tanques de fermentación.	Motor eléctrico de 2 H.P a 220 V con reductor de velocidad.
7	Tanques de fermentación	Almacenar el mucilago durante el tiempo de fermentación.	Cuatro tanques de fermentación negros de polietileno de 1000 litros, serie ecoplast de Eternit con tapa cada uno.
8	Filtros de papel	Evitar el paso de sedimentos al sistema de destilación.	Dos filtros con cilindros de polietileno con porosidades y cubierta intercambiable de papel.
9	Bomba de alimentación	Enviar el mucilago de los tanques de fermentación al sistema de destilación.	Motobomba con capacidad de 100 litros por minuto, valvula de purgado y motor electrico de 220 V, de un caballo de fuerza.
10	Tablero control de	Permitir el encendido y apagado de los equipos, y la visualización de las temperaturas.	Tablero de control con protección eléctrica para los arrancadores de las bombas de alimentación y reflujo; y para los indicadores digitales de temperatura de las torres destiladoras, cableado eléctrico de 220 V, luces indicadoras de operación programador para PLC tipo portátil, y/o manual de todos equipos en los procesos de producción de la planta.
11	Torre de enfriamiento	Enfriar la torre rectificadora para condensar el alcohol.	Torre de enfriamiento con flujo de 80 litros por minuto en contracorriente con poseta de fondo, bomba para agua y ventilador axial para suministro de aire con sus respectivos arrancadores.
12	Ciclón chimenea o	Airear el horno de la caldera y permitir la salida del humo.	Torre en acero inoxidable, ciclón con extractor de combustión y motor, chimenea de 6" con altura de 5 mts, sombrero tipo chino, y soporte metálico.

13	Bomba de reflujo	Recircular el etanol obtenido a la torre rectificadora para aumentar el nivel de alcohol en el mismo.	Motobomba con capacidad de 100 litros por minuto, valvula de purgado y motor electrico de 220 V, de un caballo de fuerza.
14	Caldera	Generar el vapor y la presión para calentar el sistema de destilación.	Caldera vertical acua-tubular de 10 BHP con capacidad de 100 Kg/H de vapor, combustible leña o bagazo, cámara de combustión y de cenizas, presión de operación aproximada 30 PSI con válvula de seguridad, medidor de nivel de agua manual y automático con bomba para regulación automática, tanque de almacenamiento de agua de 500 litros con conexiones hidráulicas de entrada y salida, tanque de condensados.
15	Tanque de agua	Alimenta la caldera para generar vapor.	Tanque de hierro con soporte metalico con capacidad de 300 litros, visor externo de llenado, motobomba de 100 litros por minuto y valvulas de entrada y salida.
16	Torre rectificadora	Deshidrata el etanol evaporando el alcohol y enviándolo a los condensadores.	Torre de rectificación de alcohol de 6 metros, empacada en anillos cascada miniring en acero inoxidable con valvula reguladora de vapor; cabezal inferior con nivel, visor a contraluz y termómetro, entrada de vapor directo y válvula de vaciado, toma de P y T, en acero inoxidable, aislado térmicamente; cabezal superior con visor a contraluz, salida de vapores y entrada de reflujo, toma de P y de T, en acero inoxidable, aislado térmicamente; tramo de columna flanchado, con plato redistribuidor, rociador y entrada de mosto, aislado térmicamente; Empaque de cascade mini-ring; ducto de conexión de vapores a condensador; Condensador tubular en cobre, enfriador de serpentín en cobre; Enfriador de tubo aleteado; estructura de soporte en ángulo HR.

17	Torre despojadora	Separa los vinazas y flemazas permitiendo que el alcohol se evapore y pase a la torre rectificadora.	Torre despojadora de vinazas de 3.5 metros en acero inoxidable, cabezal inferior con nivel y visor a contraluz y entrada de vapor directo, toma de P y de T, en acero inoxidable, aislado térmicamente; cabezal superior con salida de vapores y entrada de reflujo, toma de P y T, en acero inoxidable, aislado térmicamente; Tramo de columna flanchado, con plato redistribuidor, rociador y entrada de mosto, aislado térmicamente; Arreglo de platos perforados en acero inoxidable; filtro de Mosto; Ducto de conexión de vapores a rectificadora.
18	Pre-calentador	Calienta el mucilago antes de ingresar a la torre despojadora.	Cilindro de acero inoxidable con capacidad de 300 litros, válvulas de entrada y salida para vapor, con tuberías de conexión desde los tanques de fermentación a la torre destiladora.
19	Condensadores	Condensan el alcohol deshidratándolo.	Tres cilindros de aluminio enfriadores de etanol producido con tuberías y sistemas de alimentación y control de agua y producto terminado, con visores externos de vidrio con capacidad de un litro.
20	Pica-pasto	Picar y triturar las plantas que se usan para aromatizar los jabones y aceites que se producen en la planta de aceites esenciales.	Rotación aproximada a 3200 - 3500 RPM, de dos cuchillas con motor de 2 HP voltaje 220 V con arrancador, estructura metálica con ruedas transportable.
21	Planta de aceites esenciales	Procesar las grasas y demás materiales para producir aceites y jabones.	Sistema de producción de aceites construido en acero inoxidable con un horno de gas, una torre de evaporación y una torre de condensado con sistemas de hidratación.

22	Molino	Triturar las grasas y demás materiales empleados en la planta de aceites.	Molino electrico con soporte metalico con corriente de alimentacion de 110 voltios.
23	Nevera	Refrigerar las muestras y las grasas que posteriormente se emplearan en la planta de biodiesel y aceites esenciales.	Nevera con control de temperatura, entrepaños intercambiables, corriente de alimentación 110 V cable, congelador y dispensador de agua fría.
24	Planta de biodiesel	Producir diesel a partir de los aceites usados en la cocina del tecno-parque YAMBORO.	Planta de biodiesel con soporte metálico, tablero de control, un tanque para aceites naturales, uno para metanol y uno para recepción, motobomba con capacidad de 5 litros por minuto.
25	Bio-reactor	Permite realizar pruebas de destilación y mezcla de diferentes materiales.	Equipo con 3 unidades de reactores enchaquetados para realización de reacciones químicas y fermentaciones en laboratorio con capacidad mínima de 5 litros cada unidad, con mirilla vertical de inspección exterior, sistema de agitación variable de 8 a 300 RPM con dos turbinas tipo Roushton por eje independiente para cada unidad, dos resistencias eléctricas trifasicas de 1000 W c/u para calentamiento con sistema de control variable para temperatura, medición de temperatura mediante termómetro de caratula de 2 ½ " rango: 0 – 150 °C con termo pozo para cada unidad, llave para muestreo en la parte inferior, tubo para recolección de CO2 con válvula conectado a un recipiente transparente de 1L, tapa con cierre hermético fácilmente desmontable con férula tipo tri clamp 6", llave de paso en la parte superior para la aplicación de vacío o presión, válvula de seguridad tipo tornillo calibrada a 25 psi, puertos de salida y conexiones a tuberías tipo tri clamp ½".tablero de control norma NEMA 4X y operación con señalización, sistemas eléctricos y estructura de soporte con pintura anticorrosiva y epoxica.

Revisión y validación de fichas técnicas:

Se realizó también la revisión y validación de las fichas técnicas de los equipos, encontrando que la información en estas reflejada corresponde a la descripción técnica de los equipos y que a su vez estos cuentan con la capacidad necesaria para la realización de los procesos para lo que son requeridos.

Fichas técnicas de los equipos con que cuenta la planta de biocombustibles del tecno-parque YAMBORO:

Tabla 2: Ficha Técnica Balanza Digital. (Fuente: SENA)

BALANZA DIGITAL		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Balanza digital	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Pesaje	
MARCA	Lexus	
MODELO	Xafir2	
CODIGO INVENTARIO	232251	
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	952893742	
CONTROL	Convencional	
FABRICANTE	Lexus electronics	
REPRESENTANTE	Lexus	
E-MAIL	www.lexuselectronics.com	
SECCION	Laboratorio planta biocombustibles	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
DIMENSION PLATO	15,5 Cm	
CAPACIDAD	4100g	
DIVISION	0,01g CLASE II	
ALIMENTACION	BATERIA RECARGABLE, ADAPTADOR 110V AC	
PLATO Y CUERPO	ACERO INOXIDABLE	
CALIBRACION	CERO A SPAN HASTA 100%(MAX), POR TECLADO	
DISPLAY	TIPO LCD	

Tabla 3: Ficha Técnica Caja De Control. (Fuente: SENA)


CAJA DE CONTROL								
DATOS DE MAQUINARIA					FOTO DEL EQUIPO			
DENOMINACION DEL EQUIPO		caja de control						
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO		caja de control electrica						
CODIGO INVENTARIO		123						
CODIGO MAQUINA /EQUIPO		247428						
FABRICANTE		SENA						
SECCION		planta biocombustible						
CARACTERISTICAS TECNICAS								
V 220 AC	V 440 AC	V 12 DC	V 24 DC	Altura 70 cm	Ancho 50cm	Fondo 30cm	60H z	

Tabla 4 Ficha Técnica Bascula digital. (Fuente: SENA)

BASCULA DIGITAL							
DATOS DE MAQUINARIA							
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Bascula						
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Horizontal convencional						
MARCA	Lexus						
MODELO	2012						
CÓDIGO INVENTARIO	123						
CÓDIGO MAQUINA /EQUIPO	952893687						
CONTROL	Convencional						
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Colombia						
FABRICANTE	Cali						
FECHA DE ADQUISICIÓN	2013						
FECHA DE EXPIRACIÓN GARANTIA	1 año						
							
				CARACTERISTICAS TECNICAS			
				Longitud (mm): 1110	Altura (mm): 1000	Ancho (mm) 110	Peso máquina(Kg) 40
				Peso máximo soportado		1750 kg	
				Voltaje de alimentación		110 VAC/60Hz	
Temperatura de operación		0 a 40 °C					
Humedad relativa		90%, no condensada					
Display tipo LCD de 6 dígitos de 2cm de altura							
Siete teclas tipo pulsador							
Función de retención de peso estable							
Función de auto apagado							

Tabla 5 : Ficha Técnica Tanques de fermentación. (Fuente: SENA)

TANQUES DE FERMENTACIÓN		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DE LOS EQUIPOS	Bioreactores	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Horizontal convencional.	
MARCA	Acuaviva	
MODELO	Tanque bicapa	
CONTROL	Convencional	
ORIGEN DE FABRICACIÓN	China	
FABRICANTE	Colombit	
SECCION	Área de fermentación	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Longitud (mm): 1200	Altura (mm): 1500	Ancho (mm) 1000
Capacidad max. 1000 litros		

Tabla 6: Ficha Técnica Motobomba De Reflujo. (Fuente: SENA)

MOTOBOMBA DE REFLUJO										
DATOS DE MAQUINARIA						FOTO DEL EQUIPO				
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO			Motobomba de reflujo							
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO			Electrobombas centrifugas							
MARCA			Pedrollo							
MODELO			Mg1-14 al red 135							
CODIGO INVENTARIO			123							
CODIGO MAQUINA /EQUIPO			247428							
CONTROL			Convencional							
ORIGEN DE FABRICACIÓN			Italy							
FABRICANTE			Pedrollo							
TELEFONOS DE CONTACTO			456136311							
E-MAIL			www.pedrollo.com							
FECHA DE ADQUISICIÓN			2013							
SECCION			Planta biocombustible							
CARACTERISTICAS TECNICAS										
V 220		A 4,5		V440	A 2,5	Q 20/180 l/min	H 31/16 m	kW 0.75	1 HP	10 lt a 100 lt
H Max 32 m	H min 16 m	t max 90°c	3450 RPM	Prex.6 bar	fun.con.s1	60 Hz	Altara 21cm	Larga 32	Ancha 18cm	

Tabla 7: Ficha Técnica Caldera. (Fuente: SENA)


CALDERA			
DATOS DE MAQUINARIA			FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Caldera		
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Caldera de vapor		
MARCA	Termovapor industrial s.a.s		
MODELO	1p vertical		
CODIGO INVENTARIO	952893687		
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	247428		
CONTROL	Convencional		
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Cali - Colombia		
FABRICANTE	Termovapor industrial S.A.S		
TELEFONOS DE CONTACTO	(2) 666 9111 - 6669266		
E-MAIL	Servicioalcliente@termovapor.com		
FECHA DE ADQUISICIÓN	2013		
SECCION	Biocombustible		
CARACTERISTICAS TECNICAS			
CAPACIDAD		20 BHP	
PRESION DISEÑO		150 PSI	
COMBUSTIBLE		GUADUA / BAGAZO SECO	
INDICDORES Y VALVULAS			
1 MANOMETRO 0- 200 PSI	2 VALVULAS BOLA	1 TIRO INDUCIDO	1 VALVULA SEGURIDAD DRESSER 150 PSI
1 SENSOR DE PRESION HONEYWELL 150 psi	2 VALVULAS GLOBO	1 CAJA DE CONTROL	1 VALVULA CHEQUE
1 REGULADOR DE PRESION Mc DONELL & MILLER 150 s - 150 psi	1 VISOR DE NIVEL	1 ALARMA SONORA	

Tabla 8: Ficha Técnica Pre-calentador. (Fuente: SENA)

PRECALENTADOR		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Pre calentador	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Equipo	
MARCA	Genérico	
CODIGO INVENTARIO	952893687	
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	247428	
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Cali - Colombia	
FECHA DE ADQUISICIÓN	2013	
SECCION	Biocombustible	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Longitud (mm): 1370	Altura (mm): 330	Ancho (mm) 270
CAPACIDAD 300 litros	PRESION MAX ENTRADA 10-40 PSI	

Tabla 9: Ficha Técnica Caudalimetro. (Fuente: SENA)

CAUDALIMETRO		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	medidor de flujo de agua	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	caudalimetro- indicador	
MARCA	hedland ez-view	
MODELO	2012	
CONTROL	convencional	
ORIGEN DE FABRICACIÓN	ee.uu	
FABRICANTE	dba instrumart	
REPRESENTANTE	Instrumentación t.t, inc. 2014	
TELEFONOS DE CONTACTO	1-800-884-4967	
E-MAIL	sales@instrumart.com	
FECHA DE ADQUISICIÓN	2013	
SECCION	planta de destilación	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
DESCRIPCION	Caudalimetro- Indicador	
MATERIAL	Cuerpo de plástico de polisulfona	
PRESION	325 psi (22 bar) para el aceite y el agua	
PRECISION	Precisión de ± 5% de la escala completa	
CAPACIDAD	0,5 a 100 GPM (2-380 LPM) para el agua	

Tabla 10: Ficha Técnica Motobomba Enfriamiento. (Fuente: SENA)

MOTOBOMBA ENFRIAMIENTO									
DATOS DE MAQUINARIA						FOTO DEL EQUIPO			
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO			Motobomba de enfriamiento						
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO			Electrobombas centrifugas						
MARCA			Pedrollo						
MODELO			Pump cpm 620						
CODIGO INVENTARIO			123						
CODIGO MAQUINA /EQUIPO			247428						
CONTROL			Convencional						
ORIGEN DE FABRICACIÓN			Italy						
FABRICANTE			Pedrollo						
E-MAIL			www.pedrollo.com						
FECHA DE ADQUISICIÓN			2013						
SECCION			Planta biocombustible						
V 220	A 6		V 110	A 12	Q 10/100 l/min	H 34/19 m	kW 0.75	1 HP	10 lt a 100 lt
H Max 35 m	H min 19 m	t max 90°C	3450 RPM	Prex. 6 bar	fun.con.s1	60 Hz	Altura 21cm	Larga 32cm	Ancha 18 cm

Tabla 11: Ficha Técnica Motobomba De Alimentación. (Fuente: SENA)

MOTOBOMBA DE ALIMENTACIÓN										
DATOS DE MAQUINARIA							FOTO DEL EQUIPO			
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO			motobomba de alimentación							
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO			electrobombas centrifugas							
MARCA			pedrollo							
MODELO			mg1-14 al red 135							
CODIGO INVENTARIO			123							
CODIGO MAQUINA /EQUIPO			247428							
CONTROL			convencional							
ORIGEN DE FABRICACIÓN			italy							
FABRICANTE			pedrollo							
TELEFONOS DE CONTACTO			456136311							
E-MAIL			www.pedrollo.com							
FECHA DE ADQUISICIÓN			2013							
SECCION			planta biocombustible							
CARACTERISTICAS TECNICAS										
V 220		A 4.2		V 440	A 2,5	Q 180 l/min	H 31/16 m	kW 0.75	1 HP	10 lt a 100 lt
H Max 32 m	H min 19 m	t max 90°c	3450 min 1	Prex.6 bar	fun.co n.s1	60 Hz	Altura 21cm	Larga 32cm	Ancha18 cm	

Tabla 12: Ficha Técnica Pasteurizadora. (Fuente: SENA)

PASTEURIZADORA		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Pasteurizadora 2 torres	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Vertical convencional	
CÓDIGO INVENTARIO	123	
CÓDIGO MAQUINA /EQUIPO	247428	
CONTROL	Convencional	
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Colombia	
FABRICANTE	Cali	
FECHA DE ADQUISICIÓN	2013	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Altura (mm): 1400	Ancho (mm) 200	Peso máquina(Kg) 100
Temperatura de operación		0 a 40 °C
Presión de trabajo		80 a 90 PCI

Tabla 13: Ficha Técnica Motobomba De Succión. (Fuente: SENA)


MOTOBOMBA DE SUCCION											
DATOS DE MAQUINARIA						FOTO DEL EQUIPO					
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO			Motobomba de succion								
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO			Electrobombas centrifugas								
MARCA			Pedrollo								
MODELO			Pump cpm 620								
CÓDIGO INVENTARIO			123								
CÓDIGO MAQUINA /EQUIPO			247428								
CONTROL			Convencional								
ORIGEN DE FABRICACIÓN			Italy								
FABRICANTE			Pedrollo								
E-MAIL			www.pedrollo.com								
FECHA DE ADQUISICIÓN			2013								
SECCIÓN			Planta biocombustible								
CARACTERISTICAS TECNICAS											
V 220		A 6		V 110	A 12	Q 10/100 l/min	H 34/19 m	kW 0.75		1 HP	10 lt a 100 lt
H Max 35 m	H min 19 m	t Max 90°c	3450 RPM	Prex.6 bar	fun.con.s1	60 Hz	Altura 21cm	Larga 32cm	Ancha 18 cm		

Tabla 14: Ficha Técnica Motor Agitador. (Fuente: SENA)

MOTOR AGITADOR				
DATOS DE MAQUINARIA			FOTO DEL EQUIPO	
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Motor reductor eléctrico de engranaje cilíndrico m-100			
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Vertical convencional			
MARCA	Nord			
MODELO	Sk90I			
CODIGO INVENTARIO	95289367			
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	34010020			
CONTROL	Convencional			
ORIGEN DE FABRICACIÓN	España			
FABRICANTE	Nord			
FECHA DE ADQUISICIÓN	2012			
SECCION	Fermentadores			
CARACTERISTICAS TECNICAS				
Longitud (mm): 180	Altura (mm): 630	Ancho (mm) 250	Peso máquina(Kg) 45	
Potencia de Trabajo 1.73 kw	Voltaje de Trabajo 220VAC	IP 55	Frecuencia de trabajo 60Hz	RPM 1395-1675

Tabla 15: Ficha Técnica Ciclón O Chimenea. (Fuente: SENA)

CICLON O CHIMENEA			
DATOS DE MAQUINARIA			FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO		Vertical convencional	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO		Ciclon	
MARCA		Generico	
MODELO		No visible	
CODIGO INVENTARIO		123	
CODIGO MAQUINA /EQUIPO		247428	
CONTROL		Convencional	
ORIGEN DE FABRICACIÓN		Colombia	
FABRICANTE		Colombia	
FECHA DE ADQUISICIÓN		2013	
CARACTERISTICAS TECNICAS			
Altura (mm) 3500		Ancho (m) 1000	Peso máquina(kg) 2.000
CHIMENEA			
Altura (mm) 7000		Diámetro 50(mm)	Peso máquina(Kg) 500
MOTOR			
Marca SIEMENS		Serie 1LA7 094-4YA60	220YY - 440Y V
14,9 kg	60 hz	2,4 / 1,8 HP / KW	RPM / 1690

Tabla 16: Ficha Técnica Tanque De Almacenamiento. (Fuente: SENA)

TANQUE DE ALMACENAMIENTO				
DATOS DE MAQUINARIA			FOTO DEL EQUIPO	
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Tanque de almacenamiento			
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Horizontal convencional			
CÓDIGO INVENTARIO	123			
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	247428			
CONTROL	Convencional			
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Colombia			
FABRICANTE	Cali			
FECHA DE ADQUISICIÓN	2013			
CARACTERISTICAS TECNICAS				
Longitud (mm): 1004		Altura (mm): 704	Ancho (mm) 1000	Peso máquina(Kg) 90
ESPACIO DE TRABAJO				
Volumen del tanque			4857,85 cm3	
Radio			47 cm	
Diámetro			94 cm	

Tabla 17: Ficha Técnica Filtro Prensa. (Fuente: SENA)

FILTRO PRENSA			
DATOS DE MAQUINARIA			FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Filtro prensa		
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Horizontal convencional		
MARCA	Multiple-layer		
MODELO	Fp-100		
CONTROL	Convencional		
SECCIÓN	Linea ingeniería		
CARACTERISTICAS TECNICAS			
Longitud (mm): 1000	Altura(mm): 1200	Ancho (mm) 800	Altura Filtro prensa/PF-01suelo 400 (mm)
CARACTERISTICAS DE BOMBA PF-01			
Voltaje 220- 380 V		Frecuencia 60hz	Fluido Max Q 4 m3/h
Consumo eléctrico 5.61/ 3.24 A			POTENCIA 1HP
Potencia 1.5 KW			Indicador presión 0.1/0.4 MPA
RPM 3358			
CARACTERISTICAS DE FILTROS MALLA			
Cantidad filtros10	Tamaño Filtro plato 100		Tamaño (m) 0.6x0.3x0.6
Válvula de bola 1	Filtro medio (um) 0.8		
Tornillo sin fin 1	Fluido de agua (T/H) 0.8		
Empaques de empalme 10	Encendido (KW) 0.55		

Tabla 18: Ficha Técnica Refractómetro. (Fuente: SENA)

REFRACTOMETRO		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Refractometro	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Medidor °brix	
MARCA	Hanna	
MODELO	Hi 96801	
CODIGO INVENTARIO	952893700	
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	270402	
CONTROL	Convencional	
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Ee uu	
FABRICANTE	Hanna	
REPRESENTANTE	Hanna	
E-MAIL	www.hannainst.com	
SECCION	Laboratorio planta biocombustible	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
VELOCIDAD DE MEDICION	aprox: 1,5 segundos	
CÉLULA DE MEDICIÓN	Anillo de acero inoxidable con prisma vidrio.	
CARCASA	ABS, IP 65	
DURACION BATERIA	1x batería de 9V/ aprox 5000 mediciones	
FUENTE LUMINOSA	LED AMARILLO	

Tabla 19: Ficha Técnica Visores. (Fuente: SENA)

VISORES		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Equipo destilacion	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Visores	
MARCA	Generica	
MODELO	2012	
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	9,53E+08	
CONTROL	Convencional	
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Colombia	
FABRICANTE	Colombia	
REPRESENTANTE	Colombia	
SECCION	Planta de destilacion	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
DESCRIPCIÓN	Visores	
REFERENCIA	Genérica	
PESO	0.417	
PRESION MAX	16 kg/cm2 a 120°C.	

Tabla 20: Ficha Técnica PH-Metro. (Fuente: SENA)


PH-METRO			
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO	
DENOMINACION DEL EQUIPO	Ph-metro		
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Medidor ph		
MARCA	Hanna		
MODELO	Hi 9126		
CODIGO INVENTARIO	259204		
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	952893696		
CONTROL	Convencional		
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Ee uu		
FABRICANTE	Hanna		
REPRESENTANTE	Hanna		
E-MAIL	www.hannainst.com		
SECCION	Laboratorio planta		
CARACTERISTICAS TECNICAS			
Longitud (mm): 185	Altura (mm): 36	Ancho (mm) 72	Peso máquina(Kg) 300g
ESPACIO DE TRABAJO			
SONDA DE TEMPERATURA	Continuas sin luz de fondo		
ELECTRODO PH	Doble union, relleno con gel.		
PENDIENTE DE CALIBRACION	de 80 a 108%		
AUTO APAGADO	Despues de 20 min de inactividad.		
VIDA BATERIA	Aprox 200 Hrs continuas		

Tabla 21: Ficha Técnica Tanque De Agua. (Fuente: SENA)

TANQUE DE AGUA			
DATOS DE MAQUINARIA			FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Tanque de agua		
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Motobomba		
MARCA	Ihm		
MODELO	Te-300tw		
CODIGO INVENTARIO	952893687		
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	247428		
CONTROL	Convencional		
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Colombia		
FABRICANTE	Ihm		
REPRESENTANTE	Ihm		
E-MAIL	www.igihm.com		
SECCION	Planta de biocombustible		
CARACTERISTICAS TECNICAS			
LONGITUD (mm): 150	ALTURA (mm): 36	ANCHO (mm) 80	Peso máquina 325g
CARACTERISTICAS DEL MOTOR			
CARCASA	HIERRO		
BUJES Y CASUILLO	ACERO INOXIDABLE		
CAUDALES	2.0 GPM A 14 GPM		
PRESION	20M A 200M		
POTENCIA	3.0 HASTA 5.0 HP		
VALVULAS Y SENSORES			
3 VALVULAS DE BOLA		2 VALVULAS DE GLOBO	
1 VISOR DE NIVEL		1 VALVULA CHEQUE	
1 TERMOMETRO 0-150 °C °F MAGTE			

Tabla 22: Ficha Técnica Termómetro Digital. (Fuente: SENA)

TERMOMETRO DIGITAL			
DATOS DE MAQUINARIA			FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Termometro digital		
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Medidor		
MARCA	Hanna		
MODELO	Hi 93552r		
CODIGO INVENTARIO	232132		
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	952893704		
CONTROL	Convencional		
ORIGEN DE FABRICACION	Ee uu		
FABRICANTE	Hanna		
REPRESENTANTE	Hanna		
E-MAIL	www.lgihm.Com		
SECCION	Laboratorio planta biocombustile		
CARACTERISTICAS TECNICAS			
Longitud (mm): 150	Altura (mm): 36	Ancho (mm) 80	Peso máquina(g) 325
CARACTERISTICAS TECNICAS			
CARCASA	A PRUEBA DE AGUA		
ACEPTA	TERMOPARES K, J, T		
FUNCION OLD	PERMITE CONGELAR LA PANTALLA		
FUNCION CAL	PERMITE CALIBRAR DE UNA MANERA RAPIDA Y SENCILLA		

Tabla 23: Ficha Técnica Torre De Enfriamiento. (Fuente: SENA)

TORRE DE ENFRIAMIENTO		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Convencional	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Torre de enfriamiento	
MARCA	Generico	
MODELO	No visible	
CODIGO INVENTARIO	123	
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	247428	
CONTROL	Convencional	
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Colombia	
FABRICANTE	Colombia	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Altura (mm) 3000	Ancho (mm) 900	Peso máquina(kg) 800
MOTOR		
Marca SIEMENS	SERIE 1LF7093-4YD90	115 / 230 V
15,0 KG 60 hz	2,4 / 1,8 HP / KW	RPM / 1744
ELECTROBOMBA		
QSB-JH-400 12 AMP	CENTRIFUGA MONOFASICA 110 V	MONOFASICA 120 V
POTENCIA 1/2 HP	MATERIAL HIERRO FUNDIDO	FECHA: 12-13-2013

Tabla 24: Ficha Técnica Torre Despojadora. (Fuente: SENA)

TORRE DESPOJADORA		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Torre despojadora	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Equipo	
MARCA	Generico	
CODIGO INVENTARIO	952893687	
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	247428	
ORIGEN DE FABRICACIÓN	Cali - colombia	
SECCION	Biocombustible	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Altura (mm): 3120	Ancho (mm) 320	
CAPACIDAD		65 GL
PRESION DISEÑO		150 PSI
COMBUSTIBLE		VAPOR
ACCESORIOS		
4 VALVULAS GLOBO		1 MANOMETRO 0-60 PSI
7 VALVULAS BOLA		2 TERMOMETROS 0-150 C
1 VISOR		1 MANOMETRO 0-30 PSI
		2 SENSORES DE TEMPERATURA

Tabla 25: Ficha Técnica Torre Rectificadora. (Fuente: SENA)

TORRE RECTIFICADORA		
DATOS DE MAQUINARIA		FOTO DEL EQUIPO
DENOMINACIÓN DEL EQUIPO	Torre rectificadora	
TIPO DE MAQUINA / EQUIPO	Equipo	
MARCA	Genérico	
CODIGO INVENTARIO	952893687	
CODIGO MAQUINA /EQUIPO	247428	
CONTROL	Convencional	
FABRICANTE	Cali - Colombia	
FECHA DE ADQUISICIÓN	2013	
SECCION	Biocombustibles	
CARACTERISTICAS TECNICAS		
Altura (mm): 7200		Ancho (mm) 320
OTRAS CARACTERISTICAS TECNICAS		
CAPACIDAD	96 GL	
PRESION DISEÑO	150 PSI	
ACCESORIOS		
2 VALVULAS BOLA	3 TERMOMETROS 0-150 C	
1 VISOR	2 MANOMETROS 0-60 PSI	
6 VALVULA GLOBO	1 TERMOMETROS 0-200 C	

También durante este periodo, se realizaron ejercicios de destilación de mucilago de café analizando las diferentes variables relacionadas con el proceso de obtención de etanol a base de mucilago de café y se pudo observar que la obtención de etanol a base de mucilago es bajo, por lo que se plantearon algunas hipótesis del porqué, como la baja cantidad de azúcares contenida en el mucilago, el exceso en los tiempos de fermentación, pues esta se realizaba durante 8 días, siguiendo el protocolo de producción de etanol a partir de la caña de azúcar, cuando lo recomendable para el mucilago son 5 días, el porcentaje de inoculación, el método de fermentación y la metodología de destilación.

Una de las principales dificultades en esta etapa fue la consecución de materia prima, pues por la época del año no se realizó una buena recolección del grano de café, por lo que los cafeteros de la zona beneficiaban solo una vez por semana y la cantidad de café beneficiado no era superior a los 300 kilos de lo que se obtenían entre 60 y 70 litros de mucilago; lo que es insuficiente para realizar una destilación exitosa.

Los datos de las destilaciones realizadas en la planta se muestran a continuación.

Datos de las destilaciones realizadas en la planta.

Estas destilaciones se realizaron en diferentes semanas inoculando el mucilago en todas las pruebas con un porcentaje de 35% con la levadura *Saccharomyces cerivisiae*; en la primera prueba se destilaron 75 litros de mucilago, en la segunda prueba se destilaron 115 litros de mucilago y en la tercera prueba se destilaron 208 litros de mucilago y solo en esta última se obtuvo etanol aunque con un porcentaje de alcohol demasiado bajo.

PRUEBA	TIEMPO DE FERMENTACION	°Bx INICIO	°Bx FINAL	°Bx DEGRADADOS	% DEGRADACION	VOLUMEN TEORICO	VOLUMEN OBTENIDO	DIFERENCIA VOLUMEN	% ALCOHOL OBTENIDO
1	8 DIAS	8.3	3.1	5.2	62.6	2.4 Lts	00 Lts	2.4 Lts	00
2	6 DIAS	10.6	5.8	4.8	45.2	4.8 Lts	00 Lts	4.8 Lts	00
3	3 DIAS	5.5	4.9	0.6	10.9	4.5 Lts	1.5 Lts	3 Lts	25

De acuerdo con la formula; que plantea que el volumen con el que se trabajara se multiplica por la cantidad de grados Brix que contenga y este resultado se multiplica por 51.1, que es el porcentaje de azucares que se degradan y convierten en alcohol; pero para este caso la medición de las azucares degradables es de 40% por lo que se modifica la formula quedando así $(V \cdot ^\circ Bx) \cdot 40^6$.

Las deficiencias en la producción de etanol se debieron a la cantidad de mucilago destilado pues esas cantidades son demasiado bajas para trabajar en la planta, ya que es muy posible que el etanol que en teoría debía obtenerse, se perdió en las tuberías y en los fondos de los condensadores, también la producción de alcohol en la fermentación decrece luego del 5 día, lo que pudo generar que las azucares degradadas se convirtieran en ácidos.

⁶ Fuente SENA.

La participación en estos ejercicios sirvió además para referenciar los procesos desarrollados en la planta para la obtención de etanol a partir del mucilago de café, proceso que se describe a continuación.

Las recomendaciones y el replanteo de estos procesos se encuentran más adelante, en la descripción de las actividades realizadas en la segunda etapa del proyecto.

Descripción del proceso de destilación para la obtención de etanol:

1. FERMENTAR EL MUCILAGO.

- A.** Se tamiza el mucilago con poli-sombra para eliminar los elementos más grandes como cascarilla y trozos de café.
- B.** Se calcula el volumen del mucilago.
- C.** Se inocula con la levadura (*Saccharomyces cerivisiae*), previamente activada en el laboratorio, a 35 gramos por hectolitro.
- D.** Se almacena el mucilago en un recipiente cerrado y con válvula de gas, dura ocho (8) días para que las azúcares se degraden.

2. PASTEURIZAR EL MUCILAGO:

- A.** Se calienta el mucilago a 120 °C durante 15 minutos.

3. CALENTAR LA CALDERA HASTA ALCANZAR 30 PSI (PRESIÓN):

- A.** Se verifica que la válvula de desagüe este cerrada.
- B.** Se verifica que el tanque del agua este lleno y que la válvula de paso de agua este abierta.
- C.** Se verifica que la válvula de liberación de presión este cerrada y la de purga este abierta.
- D.** Se verifica que el ciclón y el horno estén limpios y libres de cenizas.
- E.** Se verifica que la alarma de la falla de agua esté apagada.
- F.** Se verifica que el automático de la bomba de llenado de agua este encendido.
- G.** Se verifica que el tiro inducido este apagado.
- H.** Se alimenta el horno con leña seca y se enciende.
- I.** Se eleva la temperatura del horno hasta que la caldera alcance y mantenga los 30 PSI, que se deben mantener durante todo el proceso de destilación.

4. ENCENDER EL TABLERO Y LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS:

- A. Se enciende el tablero de control y los interruptores de las bombas de alimentación y reflujo.

5. ENCENDER LA TORRE DE ENFRIAMIENTO:

- A. Se abre la válvula de llenado de agua.
- B. Se llena la torre de enfriamiento, hasta el tope del ventilador.
- C. Se purga la bomba de enfriamiento y se enciende.
- D. Se verifica que los pasos de agua de la torre al sistema de destilación estén abiertas.
- E. Se verifican los fondos del sistema de destilación.

6. CALENTAR EL SISTEMA DE DESTILACIÓN, HASTA ALCANZAR 75 °C EN LA TORRE DESTILADORA Y 85 EN LA RECTIFICADORA:

- A. Se verifica que las válvulas que permiten el paso del vapor desde la caldera a las torres despojadora y rectificadora estén cerradas.
- B. Se purga la válvula de paso de vapor.
- C. Se abre la válvula de paso de vapor.
- D. Se abre poco a poco la válvula de la torre despojadora hasta estabilizarla en 75 °C, para facilitar la separación de los sedimentos, los líquidos y el etanol.
- E. Se abre poco a poco la válvula de la torre rectificadora hasta estabilizarla en 85 °C, para aumentar la deshidratación del etanol por evaporación.

7. INTRODUCIR EL MOSTO EN EL SISTEMA DE DESTILACIÓN:

- A. Se abre la línea de alimentación que permite el paso desde los tanques de fermentación al sistema de destilación.
- B. Se abre la válvula del tanque de fermentación que contenga el mucilago.
- C. Se purga la bomba de alimentación.
- D. Se abre la válvula de alimentación de las torres a 2 litros por minuto para permitir que la temperatura de las torres permanezca constante a pesar del ingreso del mucilago frío.

8. INICIAR EL PROCESO DE DESTILACIÓN:

- A.** Se verifica constantemente la temperatura de las cimas de las torres de despojadora y rectificadora para evitar que descieran o se eleven.
- B.** Se vacían los fondos de las torres para eliminar los excesos de agua.
- C.** Se realiza reflujo una vez se observe en los visores que se ha obtenido etanol.
- D.** Se vacían los condensadores para obtener el producto final, que posteriormente será rectificado nuevamente en el laboratorio, para elevar el porcentaje de alcohol.

9. LIMPIAR LOS EQUIPOS:

- A.** Se permite el paso de vapor por el sistema de destilación para limpiarlo.
- B.** Se lava con agua los tanques de fermentación y almacenamiento.
- C.** Se libera la presión de la caldera, se enfría y limpia el horno y la chimenea, con una escobilla de cerdas duras.

10. APAGAR LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS:

- A.** Una vez liberada la presión de la caldera se apaga el tablero y se cierran las válvulas.
- B.** Se cierran las válvulas.
- C.** Se apagan las bombas de alimentación, enfriamiento y reflujo.
- D.** Se apaga el tablero y se cierran los suiches.

Al revisar esta información se evidenció la necesidad de complementar algunos procesos por lo que se buscaron datos sobre el aprovechamiento del mucilago en la producción de etanol, que fueron tomados como referentes para la realización de ejercicios de inoculación, fermentación y destilación a nivel de laboratorio, donde se estudiaron tiempos y temperaturas de fermentación, pasteurización y destilación, medidas, cantidades y metodologías de inoculación y demás variables que permitieran obtener excelentes resultados al transformar el mucilago de café en etanol, para posteriormente usar toda la información recolectada, que permitiera identificar cuáles son las variables óptimas y así, con estos datos, dar cumplimiento al segundo objetivo específico que es el diseño estandarizado de procesos de producción de etanol a base de mucilago de café, en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro del SENA; lo que se encuentra referenciado en esta segunda parte de este documento.

En esta etapa se realizaron algunas modificaciones en la planta, como el descenso de las aspas de agitado dentro de cada tanque para que agitaran el mucilago desde el suelo de los tanque evitando la formación de grumos a causa del descenso de sedimentos, generando una mezcla uniforme del mucilago y la levadura, mejorando el proceso de fermentación; el cambio de la válvula del serpentín, que desde el segundo piso de la plataforma de las torres despojadora y destiladora se bajó junto al tablero de control, para que el operario de este pudiera manipularlo y a la vez supervisar el cambio en la temperatura de la torre rectificadora, que es la función del serpentín (enfriar la torre rectificadora para condensar el alcohol, mediante la circulación de agua por una tubería en espiral dentro de la torre), con lo que además de eliminar una estación redundante, se agiliza el tiempo de realización de esta función.

También se realizaron algunas pruebas en el laboratorio para probar las hipótesis planteadas a partir de estudios realizados, analizando las diferentes variables relacionadas con el proceso de obtención de etanol a base de mucilago de café, como las condiciones del café, el tratamiento previo del mucilago, tiempos de fermentación, tipo y cantidades de inoculación,

para estas pruebas se tomaron muestras de 2000 ml de un mismo mucilago midiendo los °Brix al inicio y fermentando cada muestra con una diferencia de 12 horas midiendo los grados Brix al término de cada periodo, para medir el porcentaje de degradación de azúcares en cada periodo; también se tomaron cuatro muestras de 2000 ml de un nuevo cultivo de mucilago midiendo también los grados Brix al inicio y se inocularon con una diferencia de 5% y se fermentaron

durante 2 días, midiendo los grados Brix al final también para medir el porcentaje de degradación de azúcares con cada inoculación.

Los datos de estas pruebas se referencias a continuación.

En esta etapa se presentan los datos obtenido luego de realizar varios experimentos en el laboratorio con el fin de determinar las variables óptimas para el tratamiento del mucilago de café, como tamizado y eliminación de grumos en el mucilago fresco, temperaturas y tiempos de fermentación, medidas de inoculación, con el fin de encontrar los mejores resultados que permitan obtener una mayor cantidad de etanol.

1. Pruebas de tamizado y filtrado:

Se tamizo el mucilago empleando poli sombra y filtros de malla, que demostraron no ser muy apropiados, por el diámetro amplio de sus agujeros, por lo que se determinó que es necesario tamizar el mucilago con filtros con mesh (*medida empleada para filtros, que se refiere a la cantidad de poros o agujeros que se ubican en una pulgada cuadrada*) de entre 160 y 180, agitando el mucilago manualmente y removiendo los grumos, para evitar el paso de elementos grandes que puedan taponar los filtros o las tuberías.

2. Datos de las pruebas de fermentación:

Se tomaron 4 muestras de 2000 MI cada una, de un mismo mucilago, fermentándolas anaeróbicamente y sin inoculación, en recipientes sellados con escape de gas, con una diferencia promedio de 12 horas y tomando las medidas de los grados Brix al inicio y al final de la fermentación, obteniendo los siguientes resultados:

MUESTRA	TIEMPO DE FERMENTACION	INICIO	FINAL	DEGRADACION	% DEGRADACION
1	24 HORAS	5.4 °Bx	4.5 °Bx	0.9 °Bx	16.6
2	36 HORAS	5.4 °Bx	4 °Bx	1.4 °Bx	25.9
3	48 HORAS	5.4 °Bx	3.8 °Bx	1.6 °Bx	29.6
4	60 HORAS	5.4 °Bx	3.8 °Bx	1.6 °Bx	29.6

Se observó que durante las primeras 48 horas de fermentación la degradación de azúcares se elevó y que luego de este tiempo se mantuvo estable por las

siguientes 12 horas, lo que permite inferir que luego de alcanzar su pico de degradación se estabiliza por un tiempo determinado luego de lo cual puede empezar a descender.

3. Datos de las pruebas de inoculación:

Se tomaron 4 muestras de 2000 ml cada una, de un mismo mucilago, fermentándolos anaeróbicamente, en recipientes sellados con escape de gas, por 48 horas, inoculándolos al 25, 30, 35 y 40 % con levadura *Saccharomyces cerevisiae* tomando las medidas de los grados Brix al inicio y al final de la fermentación, obteniendo los siguientes resultados:

MUESTRA	INOCULACION	INICIO	FINAL	DEGRADACION	% DEGRADACION
1	25 %	3.8 °Bx	3.6 °Bx	0.2 °Bx	5.2
2	30 %	3.8 °Bx	3.6 °Bx	0.2 °Bx	5.2
3	35 %	3.8 °Bx	3.3 °Bx	0.5 °Bx	13.1
4	40 %	3.8 °Bx	3.4 °Bx	0.4 °Bx	10.5

Los resultados obtenidos en estas pruebas muestran que el porcentaje óptimo de inoculación con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, para la producción de etanol a partir de mucilago de café es de 35%, pues al finalizar la prueba y comparar los datos, al inocular con este porcentaje se logró una mayor degradación de azúcares luego de las 48 horas de fermentación.

4. Datos de las visitas a las fincas cercanas al tecno-parque YAMBORO:

Se visitaron 9 fincas cercanas al tecno-parque YAMBORO, encontrando que solo en 4 de ellas se emplea el desmucilagador para beneficiar el café; se procedió a la recolección de datos en estas fincas, pero solo se pudieron obtener datos completos de 2 de estas fincas, debido a la ausencia y difícil ubicación de los propietarios de las otras 2:

Se busca que en las fincas de donde se obtiene el mucilago empleen el método BECOLSUB (Beneficio Ecologico del Café y sus Subproductos) y no el metodo humedo de fermnetacion, porque en este metodo el mucilago ademas de contener demasiada agua lo que disminuye el porcentaje de gados Brix, ya se ha iniciado el proceso de degradacion de azúcares; lo que no ocurre con el primer metodo

donde al emplear el desmucilaginador el mucilago se obtien fresco y con mayor concetracion de °Brix, ver anexo 1.

En la siguiente imagen se muestra la geo-referenciacion satelital de la ubicación de las dos fincas de donde se obtiene el mucilago.



Imagen 7: Geo-referenciacion satelital de las fincas. (Fuente SENA).

En la siguiente tabla se referencian los datos obtenidos en las visitas realizadas.

FINCA	VEREDA	PROPIETARIO	TEL. CONTACTO	CANTIDAD BENEFICIAR	DIA BENEFICIO	HORARIO	VARIEDAD CAFÉ	GRADOS BRIX
LA ESPERANZA	LAS FRANJAS	MANUEL GOMEZ ORTIZ	3203258171	1 TONELADA	JUEVES Y VIERNES	6:00 a 7:00 PM	COLOMBIA y CASTILLO	5.2
	LAS FRANJAS	JOSE ARISTOBOLO LEONCIO		1 TONELADA				
PARAISO	CHILLURCO	HANIBAL ESPAÑA DAVID	3208002524	1 TONELADA	DE LUNES a SABADO	4:00 a 5:00 PM	TABI, COLOMBIAN y CATURRA	8.3
	CHILLURCO	JAIME CHEWERMEN		1 TONELADA				

Datos de las pruebas de temperatura:

Para realizar estas pruebas se calentó el horno por 20 minutos hasta que la caldera alcanzo una presión de 40 PSI, luego se abrió la válvula de alimentación de vapor del sistema de destilación, girándola apenas 11 grados o un octavo de vuelta, con el fin de controlar el paso de vapor, luego las válvulas individuales que permiten el ingreso de vapor a las torres despojadora y rectificadora se abrieron 45 grados o media vuelta; y pasados 20 minutos estas alcanzaron una temperatura estable de 98 °C en los fondos; 15 minutos después de esto la torre despojadora alcanzo una temperatura de 98 °C en la cima y 5 minutos después la torre rectificadora alcanzo una temperatura de 98 °C en la cima y la torre despojadora bajo a 96 °C, luego de esto las temperaturas se mantuvieron estables por 10 minutos, pasado este tiempo se abrieron otros 45 grados o media vuelta las válvulas individuales de las 2 torres lo que no produjo ningún cambio en la temperatura, pasados 10 minutos más se abrieron otros 45 grados a las válvulas individuales y se esperó 20 minutos más para observar los cambios de temperatura, pero no hubo ninguno, con lo que se dio con lo que se finalizó el experimento, concluyendo que luego de alcanzar las temperaturas deseadas, estas se mantienen estables sin importar el aumento en el paso de vapor, que estas temperaturas solo variaran si se disminuye el paso del vapor, en cuyo caso las temperaturas descenderán; considerando esto se asumió que luego de estandarizar la temperatura de las torres y mantener el paso de vapor por encima de 30 PSI se puede alimentar el mucilago a las torres sin que la temperaturas de estas descienda.

5. Datos de las pruebas de destilaciones en el laboratorio:

Estas pruebas se realizaron aprovechando las muestras de 2000 MI con que se realizaron las pruebas de fermentación e inoculación.

Al destilar en el laboratorio las muestras del ejercicio de fermentación, se obtuvieron los siguientes datos.

MUESTRA	TIEMPO DE FERMENTACION	°Bx INICIO	°Bx FINAL	°Bx DEGRADADOS	% DEGRADACION	VOL TEORICO	VOL OBTENIDO	DIFERENCIA VOLUMEN	% ALCOHOL
1	24 HORAS	5.4	4.5	0.9	16.6	43 MI	19 MI	-24 MI	12
2	36 HORAS	5.4	4	1.4	25.9	43 MI	26 MI	-17 MI	10
3	48 HORAS	5.4	3.8	1.6	29.6	43 MI	28 MI	-15 MI	18
4	60 HORAS	5.4	3.8	1.6	29.6	43 MI	30 MI	-13 MI	15

Se esperaba obtener más de 50 ml de etanol por muestra, de acuerdo a la formula; que plantea que el volumen con el que se trabajara se multiplica por la cantidad de grados Brix que contenga y este resultado se multiplica por 51.1, que es porcentaje de azucares que se degradan y convierten en alcohol; pero para este caso la medición de las azucares degradables es de 40% por lo que se multiplica la formula quedando así $(V \times \text{°Bx}) \times 40^7$.

Las diferencias en las cantidades obtenidas pueden deberse a los tiempos de fermentación y a que quizá se requiere de más tiempo para la degradación de las azucares en etanol, pues la literatura reporta un tiempo óptimo de degradación de 120 horas⁸, pues en la tabla se observa que la diferencia entre el volumen que en teoría debería obtenerse y el obtenido disminuye con el aumento en los tiempos de fermentación.

⁷ Fuente SENA.

⁸ (Revista avances técnicos Cenicafe edición 422, 2012)

Estas pruebas se realizaron aprovechando las muestras de 2000 MI con que se realizaron las pruebas de fermentación e inoculación.

Al destilar en el laboratorio las muestras del ejercicio de inoculación con la levadura *Saccharomyces cerevisiae* se obtuvieron los siguientes datos

MUESTRA	INOCULACION	°Bx INICIO	°Bx FINAL	°Bx DEGRADADOS	% DEGRADACION	VOL TEORICO	VOL OBTENIDO	DIFERENCIA VOLUMEN	% ALCOHOL OBTENIDO
1	25 %	3.8	3.6	0.2	5.2	30 MI	13 MI	17 MI	6
2	30 %	3.8	3.6	0.2	5.2	30 MI	17 MI	13 MI	5
3	35 %	3.8	3.3	0.5	13.1	30 MI	21 MI	9 MI	8
4	40 %	3.8	3.4	0.4	10.5	30 MI	19 MI	11 MI	5

Se esperaba obtener más de 30 MI de etanol por muestra, de acuerdo a la formula, planteada anteriormente.

Se observa que los mejores resultados son reportados por la muestra número 3 que fue inoculada con un porcentaje de 35%, pues con esta muestra se obtuvo el volúmenes más alto y con la mayor concentración de alcohol, por lo que se confirma que es el porcentaje apropiado para la inoculación del mosto con la levadura *Saccharomyces cerevisiae*.

DISEÑO EXPERIMENTAL DE LOS PROCESOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ETANOL A PARTIR DEL MUCILAGO DE CAFÉ.

Finalmente al comparar los resultados previos, que se encuentran en el primer informe y los obtenidos con los ejercicios de laboratorio que se referencian en el segundo informe; se logró elaborar un consolidado de ambos informes, que contiene la descripción detallada paso a paso de los diferentes procesos de tratamiento, inoculación, fermentación y destilación del mucilago de café para la obtención de etanol; documento que hace parte del segundo informe y que se aspira contribuya a la construcción del protocolo operativo para la producción de etanol a partir del mucilago de café, para la planta de biocombustibles y aceites esenciales del tecno-parque Yamboro del SENA en el municipio de Pitalito.

PROTOCOLO PARA LA PRODUCCIÓN

I. OBTENCIÓN DEL MUCILAGO:

Es recomendable obtener el mucilago de los granos más maduros, pues la cantidad de mucilago en un grano maduro esta alrededor del 27%, en un grano verde es de 1.3%, en uno pintón es de 8.4% y en uno sobre maduro es de 23%⁹.

También se puede aprovechar la cascarilla del café para la extracción de mucilago mediante prensado.

II. TRATAMIENTO PREVIO DEL MUCILAGO:

- A.** Medir los grados Brix, para determinar el porcentaje de azúcares que se convertirán en alcohol y de esta manera estimar la cantidad de etanol que se obtendrá.
- B.** Tamizar el mucilago tres veces, una vez con un filtro de 80 mesh para eliminar las partículas más grandes como cascarillas y trozos de hojas y tierra; una segunda vez con un filtro de 120 mesh para eliminar las partículas más pequeñas y una tercera vez con un filtro de 160 mesh para eliminar los sedimentos que puedan obstruir las válvulas o tuberías, esto debe realizarse agitando el mucilago manualmente y removiendo los

⁹ (Revista avances técnicos Cenicafe edición 422, 2012)

materiales sólidos, para eliminar los grumos y sobrantes de cascarilla que pueda contener, este proceso debe realizarse durante la recolección, ya sea al recogerlo directamente del desmucilagador o antes de vaciarse en los recipientes herméticos con dispositivos de fuga de gas, que deberán sellarse luego del llenado.

- C. Calcular el volumen con ayuda del medidor de los tanques, para determinar la cantidad de levadura a inocular, dejándolo así, listo para la inoculación y fermentación, pues el tamizarlo luego de la recolección interrumpe el proceso de fermentación, teniendo en cuenta que el mucilago es llevado a la planta generalmente 24 horas después de su recolección.

III. FILTRADO DEL MUCILAGO:

En este proceso le mucilago pasa del tanque de almacenamiento a la pasteurizadora por el filtro prensa, para eliminar los sedimentos que pueda contener aun, que puedan taponar las válvulas o tuberías.

- A. Ajustar la prensa manual del filtro.
- B. Abrir la válvula de salida del tanque de almacenamiento.
- C. Encender el filtro.
- D. Purgar la válvula de presión ubicada en la parte superior del filtro prensa.
- E. Abrir la válvula de ingreso del filtro prensa.
- F. Apagar y cerrar la válvula de ingreso del filtro prensa.
- G. Cerrar la válvula de salida del tanque d almacenamiento.

IV. APAGADO Y LIMPIEZA DEL FILTRO PRENSA:

Luego de terminado el proceso de filtrado se deben lavar el tanque de almacenamiento y el filtro prensa para evitar que los residuos se adhieran a las tubería y válvulas.

- A. Llenar el tanque con agua limpia hasta un cuarto y frotar su interior con una escobilla.
- B. Llenar nuevamente el tanque hasta un cuarto con agua limpia y pasar por el filtro prensa.

- C. Realizar el proceso de filtrado siguiendo los pasos descritos en el proceso anterior.
- D. Apagar el filtro prensa.
- E. Desajustar manualmente la prensa.
- F. Retirar las mayas o filtros y lavarlas con abundante agua.
- G. Regresar las mayas a su lugar y ajustar la prensa.

V. PASTEURIZACION DEL MUCILAGO:

La pasteurización debe realizarse antes de la inoculación para lograr un mayor aprovechamiento de las levaduras, evitando que los parásitos y bacterias interfieran con la fermentación.

En este proceso el mucilago pasa a los tanques de fermentación, por la pasteurizadora, donde se libera de parásitos y bacterias que puedan interferir con el proceso de fermentación.

Para realizar este proceso se calienta la caldera hasta alcanzar una presión de 100 PSI, siguiendo los procedimientos descritos en el paso número X “CALENTAMIENTO DE LA CALDERA” del protocolo, para que esta caliente la torre de calentamiento hasta 120 °C y encender la torre de enfriamiento siguiendo los pasos descritos en el paso numero XI “ENCENDER LA TORRE DE ENFRIAMIENTO”, para que esta enfrié la torre de enfriamiento de la pasteurizadora y así se genere el cambio de temperatura que eliminara las bacterias.

- A. Calentar la torre de calentamiento el mucilago hasta que alcance una temperatura de 120 °C.
- B. Abrir la válvula de ingreso de la pasteurizadora.
- C. Alimentar el mucilago a 5 litros por minuto.
- D. Enviar el mucilago a los tanques fermentadores para posteriormente ser inoculado.

VI. PASO DEL MUCILAGO DE LA PASTEURIZADORA A LOS TANQUES DE FERMENTACION:

- A.** Asegurarse que los tanque fermentadores estén bien sellados, para mantener el ambiente anaeróbico necesario para el proceso de fermentación.
- B.** Sumar los litros contenidos en los diferentes tanques recolectores para poder de esta manera hallar el volumen total de mucilago introducido a los tanques de fermentación y así calcular la cantidad de levadura a inocular.

VII. ACTIVACION DE LA LEVADURA:

- A.** Calcular la cantidad de levadura a inocular multiplicando el volumen del mucilago por 35 que es el porcentaje de levadura al que se debe inocular.
- B.** Multiplicar el resultado obtenido anteriormente por 6 partes de agua.
- C.** Mesclar calentar a 35 °C por 5 minutos.

VIII. INOCULACION DEL MUCILAGO:

Los ejercicios desarrollados en el laboratorio confirman que el porcentaje de inoculación de levadura que más contribuye a elevar los niveles de alcohol durante la fermentación es de 35%, por lo que se continuara inoculando con esta medida.

A falta de experimentos con otras levaduras como la *Candida Albicans*, *C. Tropicalis*, *C. Krusei*, *C. lipolytica*, *C. parasilopsis* y *C. pintolopesii*¹⁰; que también se emplean en la fermentación de mucilago, se continuara empleando la *Saccharomyces cerivisiae*, que es con la que se ha venido trabajando y con la que se realizaron los experimentos de laboratorio.

Para llevar a cabo la inoculación sin interrumpir o alterar el proceso de fermentación, abriendo los tanques se sugiere la adaptación de un tubo de PVC de una pulgada (1”), en la parte superior del tanque, por donde se pueda inocular la levadura, previamente activada en el laboratorio.

¹⁰ (Revista avances técnicos Cenicafe edición 422, 2012)

- A. Introducir la cantidad de levadura previamente activada de acuerdo al volumen del mucilago.
- B. Encender el motor agitador para que este mueva las aspas dentro de los tanques para disolver la levadura y mezclarla bien evitando la formación de grumos.

IX. FERMENTACION DEL MUCILAGO:

Basándose en la literatura que dice que el pico máximo de producción de etanol en la fermentación del mucilago se obtiene a las 120 horas¹¹ y en los resultados obtenidos en el laboratorio se recomienda fermentar el mucilago por 5 días, en condiciones anaeróbicas, agitando entre 1 y 2 veces al día con ayuda del motor agitador, para evitar la sedimentación dentro de los tanques. La temperatura recomendable para lograr una óptima fermentación esta entre los 29 °C y 31 °C¹².

X. CALENTAMIENTO DE LA CALDERA:

- A. Subir el break del tablero de control de la caldera.
- B. Verificar que la válvula de desagüe del tanque hidratador este cerrada.
- C. Verificar que el tanque del agua este lleno y que la válvula de paso de agua del tanque a la caldera este abierta.
- D. Verificar que la válvula grande de liberación de presión de la caldera este cerrada y la válvula pequeña de purga este abierta, esto para comprobar la generación de vapor.
- E. Verificar que el ciclón y el horno estén limpios y libres de cenizas.
- F. Verificar que la alarma de la falla de agua esté apagada (esta es la que indica cuando el tanque hidratador se está quedando sin agua).
- G. Verificar que el automático de la bomba de llenado de agua este encendido, garantizando el paso constante de agua asía la caldera para generar vapor.
- H. Verificar que el tiro inducido este apagado, para evitar el exceso de llamas en el horno.
- I. Alimentar el horno con leña seca y encenderlo.

¹¹ (Revista avances técnicos Cenicafe edición 422, 2012)

¹² (Rodríguez Valencia, 2006)

- J. Calentar el horno por 20 minutos.
- K. Comprobar que salga vapor por la válvula de purga para verificar la generación de presión.
- L. Cerrar la válvula de purga.
- M. Mantener la temperatura constante.
- N. Verificar que la caldera alcance una presión constante de 40 PSI, que se deben mantener durante todo el proceso de destilación.

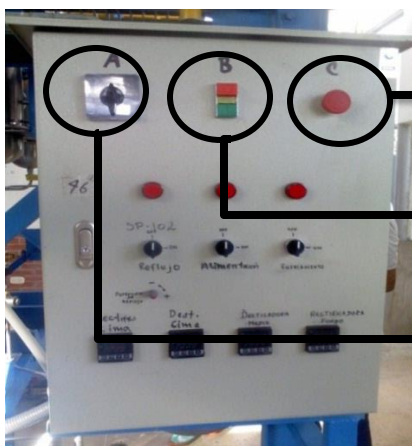
NOTA: Para evitar que la presión supere los 40 PSI abrir la válvula de purga hasta que la presión descienda nuevamente.

XI. ENCENDER LA TORRE DE ENFRIAMIENTO:

- A. Abrir la válvula de llenado de agua.
- B. Llenar la torre de enfriamiento, hasta el tope del ventilador.
- C. Purgar la bomba de enfriamiento.
- D. Conectar el cable de energía de la bomba.
- E. Encender la bomba, pulsando el botón verde que está al lado de la bomba.
- F. Verificar que el paso de agua de la torre al sistema de destilación este abierto.

XII. ENCENDER EL TABLERO DE CONTROL Y LOS EQUIPOS ELECTRÓNICOS:

- A. Encender el tablero de control y los interruptores de las bombas de alimentación y reflujo.



Tablero de control

Bomba de alimentación

Bomba de reflujo

XIII. PREPARACION DEL SITEMA DE DESTILACION:

Una vez se haya alcanzado una presión de 40 PSI en la caldera se procede a calentar las torres despojadora y rectificadora abriendo el paso de vapor asía el sistema de destilación.

- A.** Verificar que las válvulas individuales que permiten el paso del vapor desde la caldera a las torres despojadora y rectificadora estén cerradas.
- B.** Verificar que la válvula de la rectificadora este cerrada.
- C.** Comprobar el paso de vapor asía el sistema de destilación abriendo la válvula pequeña ubicada debajo de la válvula de paso hasta que deje de salir agua.
- D.** Cerrar la válvula de purga.
- E.** Girar la válvula de paso de vapor 11 grados para permitir el paso de vapor al sistema de destilación.
- F.** Girar 45 grados las válvulas de las torres despojadora y rectificadora, para permitir el paso de vapor a cada una.
- G.** Supervisar constantemente la temperatura de los fondos y las cimas de cada torre.
- H.** Esperar a que la torre despojadora alcance una temperatura en la cima de 75 °C, para facilitar la separación de los sedimentos, los líquidos y el etanol.
- I.** Esperar a que la torre rectificadora alcance una temperatura en la cima de 85 °C, para aumentar la deshidratación del etanol por evaporación.
- J.** Mantener constante la temperatura de las cimas de cada torre.
- K.** Vaciar constantemente los fondos del sistema de destilación, abriendo las válvulas ubicadas debajo de las torres despojadora y rectificadora.

XIV. ALIMENTAR EL SISTEMA DE DESTILACIÓN:

Una vez se logre estabilizar y mantener la temperatura de las torres despojadora y destiladora se puede introducir el mucilago en el sistema de destilación.

- A.** Abrir la línea de alimentación que permite el paso desde los tanques de fermentación al sistema de destilación.
- B.** Abrir la válvula del tanque de fermentación que contenga el mucilago.
- C.** Purgar la bomba de alimentación.

- D. Abrir la válvula de alimentación de las torres a 2 litros por minuto para permitir que la temperatura de las torres permanezca constante a pesar del ingreso del mucilago frio.

XV. INICIAR LA DESTILACIÓN:

En este punto es importante garantizar que la temperatura de las cimas de las torres este estable y se mantenga constante, por lo que se debe estar atento y en caso de que las temperaturas descieran abrir otros 45 grados la válvula de la torre cuya temperatura descienda; si la temperatura aumenta cerrar 20 grados la válvula de la torre de la que descendió al temperatura.

- A. Verificar constantemente la temperatura de las cimas de las torres despojadora y rectificadora para evitar que descieran o se eleven; esta temperaturas deben mantenerse por encima de 75 y 85 °C respectivamente en cada torre.
- B. Vaciar constantemente los fondos de las torres para eliminar los excesos de agua.
- C. Realizar el reflujo, una vez se observe en los visores que se ha obtenido etanol.
- D. Vaciar los condensadores para obtener el producto final, que posteriormente será rectificado nuevamente en el laboratorio, para elevar el porcentaje de alcohol.

NOTA: Cuando se haya obtenido etanol los equipos deberán limpiarse y apagarse verificando que no queden residuos ni impurezas en ningún equipo y que todos estén debidamente apagados.

XVI. LIMPIAR LOS EQUIPOS:

Es importante limpiar los quipos luego de terminar la destilación para evitar que los sedimentos y residuos se adhieran a las tuberías, las bombas o a los demás equipos.

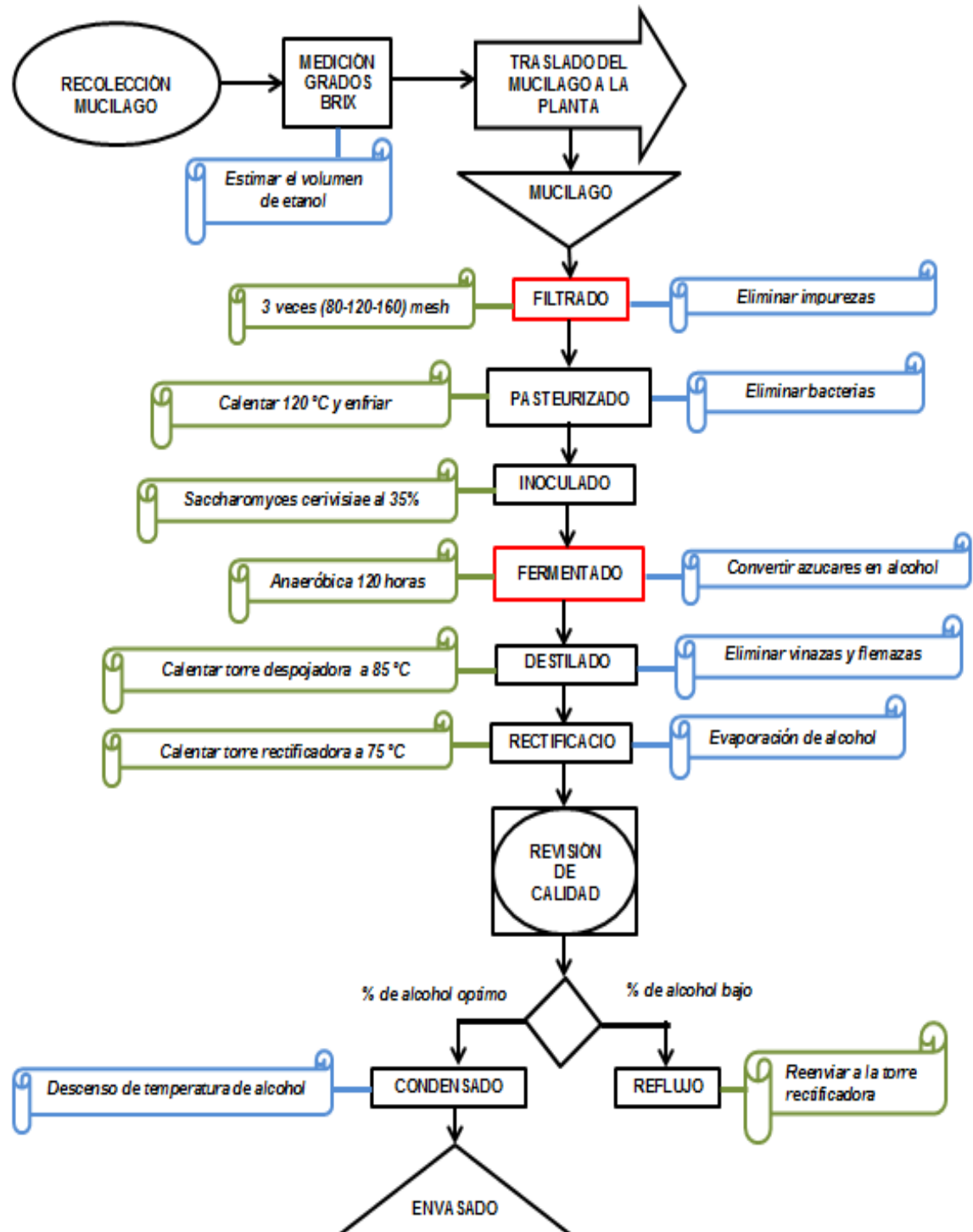
- A. Permitir el paso de vapor por el sistema de destilación para limpiarlo.
- B. Vaciar los fondos.
- C. Lavar con agua los tanques de fermentación y almacenamiento.

- D. Permitir el paso de agua por las tuberías que van al sistema de destilación.
- E. Abrir la llave de liberación de presión de la caldera para dejar salir todo el vapor generado.
- F. Enfriar y limpiar el horno y la chimenea, con una escobilla de cerdas duras, retirando los excesos de leña, carbón y cenizas.

XVII. APAGADO DE EQUIPOS:

- A. liberar la presión de la caldera y cerrar nuevamente las válvulas de purga y liberación de presión.
- B. Apagar la bomba de llenado de agua y el tablero.
- C. Bajar el break.
- D. Cerrar la válvula de paso de agua del tanque a la caldera.
- E. Verificar que el tiro inducido este apagado.
- F. Cerrar la válvula de llenado de la torre de enfriamiento.
- G. Apagar la bomba de enfriamiento.
- H. Apagar la torre de enfriamiento presionando el botón rojo ubicado al lado de la torre.
- I. Desconectar la torre de enfriamiento.
- J. Cerrar las válvulas de alimentación de vapor de las torres despojadora y rectificadora.
- K. Purgar la válvula de alimentación de vapor del sistema de destilación.
- L. Cerrar la válvula de alimentación de vapor del sistema de destilación.
- M. Apagar las bombas de alimentación y reflujo.
- N. Apagar el tablero y cerrar los suiches.
- O. Verificar que todos los equipos estén apagados y las válvulas estén cerradas.

Figura 3: Descripción gráfica del proceso. (Fuente: el autor)



Y así, el cumplimiento de estos objetivos específicos genera automáticamente el cumplimiento del objetivo general de este proyecto, que es “Estandarizar los procesos de tratamiento, pasteurización, fermentación y destilación del mucilago de café para la producción de etanol en la planta de biocombustible del tecno-parque Yamboro del SENA en el municipio de Pitalito”, que se ve en el incremento de producción de los procesos planteados respecto de los realizados anteriormente, logrado con los cambios en la metodología de tratamiento del mucilago, en los tiempos de fermentación que de 1 a 2 días mínimo y 6 a 8 días máximo, paso a un estándar óptimo de 120 horas o 5 días, donde la producción de alcohol alcanza su pico más alto y luego de lo cual empieza a descender; se confirmó también que el óptimo de inoculación con levadura *Saccharomyces cerevisiae*, es de 35% , pues en las pruebas de inoculación con este porcentaje, se obtuvieron resultados similares a los obtenidos con los métodos anteriores; además de sumar datos como la altura y el grado de maduración del grano de café en que este contiene la mayor cantidad de mucilago, entre otros datos relevantes para lograr una producción óptima de etanol a partir del mucilago de café.

A continuación se muestran los datos del ejercicio de validación de los procesos planteados, que se realizó mediante la destilación de 320 litros de mucilago con una medida de grados Brix de 11, que se destilaron de acuerdo al protocolo propuesto en este proyecto.

VOLUMEN MUESTRA	320 Lt
TIEMPO DE FERMENTACION	4 Días
INOCULACION	35%
°BX INICIO	11 °BX
°BX FINAL	4.3 °BX
°BX DEGRADADOS	6.7 °BX
% DEGRADACION	60 %
VOLUMEN TEORICO	17.9 Lt
VOLUMEN OBTENIDO	6.3 Lt
DIFERENCIA VOLUMEN	11.6 Lt
% DIFERENCIA	64.8 %
% ALCOHOL OBTENIDO	28 %

En esta destilación el porcentaje de diferencia del volumen que se esperaba obtener respecto del obtenido es de apenas 44%, que al compararlo la diferencia reportada en las destilaciones realizadas con el procedimiento

anterior, muestra una diferencia de 1.8 % lo que representa un incremento en la optimización del proceso de producción de etanol a partir del mucilago de café, con lo que se compruebe la influencia positiva del desarrollo de este proyecto en la realización de estos procesos.

ANTES.

VOLUMEN MUCILAGO	°Bx INICIO	°Bx DEGRADADOS	VOLUMEN TEORICO	VOLUMEN OBTENIDO	DIFERENCIA VOLUMEN	% DE DIFERENCIA	% ALCOHOL OBTENIDO
75 Lt	8.3	5.2	2.4 Lts	00 Lts	2.4 Lts	100 %	00
115 Lt	10.6	4.8	4.8 Lts	00 Lts	4.8 Lts	100 %	00
208 Lt	5.5	0.6	4.5 Lts	1.5 Lts	3 Lts	66.6 %	25

DESPUÉS.

VOLUMEN MUCILAGO	°Bx INICIO	°Bx DEGRADADOS	VOLUMEN TEORICO	VOLUMEN OBTENIDO	DIFERENCIA VOLUMEN	% DE DIFERENCIA	% ALCOHOL OBTENIDO
320 Lt	11 °BX	4.3 °BX	17.9 Lt	6.3 Lt	11.6 Lt	64.8 %	28 %

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El porcentaje de etanol obtenido del mucilago de café depende mayormente de los grados Brix que este contenga.

El grado de maduración del grano de café influye en el porcentaje de grados Brix que contenga el mucilago.

La producción de etanol a partir del mucilago de café no es económicamente viable, (ver anexo 2).

El diseño de la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro, requiere que se trabaje con cantidades superiores a 200 litros y porcentajes de grados Brix mayores a 10% para obtener resultados óptimos en los procesos de destilación.

La realización de este proyecto abre paso a la realización de nuevos proyectos de aplicación práctica en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro, como la producción de etanol empleando materiales como la yuca, el plátano, la arracacha, el bore; el diseño de los protocolos operativos de la planta entre otros.

El desarrollo de este proyecto contribuye a ampliar la capacidad operativa de la planta de biocombustibles y aceites esenciales del tecno-parque Yamboro del SENA por cuanto suma nuevos productos a su esquema de producción.

Se generó un documento que describe paso a paso los procesos adecuados para lograr una óptima producción de etanol a partir del mucilago de café en la planta de biocombustibles y aceites esenciales del tecno-parque Yamboro del SENA en el municipio de Pitalito,

Se suman nuevos datos sobre la producción alternativa de energía limpia respecto de la producción de combustibles con base vegetal, en el Tecno-parque Yamboro, como el aprovechamiento del mucilago en la producción de etanol realizando la descripción de los tratamientos previos que se le deben dar al mucilago de café, el porcentaje de azúcares apropiado para obtener buenos niveles de etanol, los tiempos y temperatura de fermentación, las medidas de

inoculación, los tiempos y temperaturas de pasteurización, entre otras variables a tener en cuenta en la producción de etanol a partir del mucilago de café.

Se logró ampliar la información sobre el funcionamiento de la planta del Tecno-parque Yamboro, contribuyendo a la estandarización de los procesos preparación y destilación del mucilago mediante la elaboración de un documento que describe el tratamiento que se debe dar al mucilago antes y durante la destilación y que permitirá además conocer de manera fácil y practica el funcionamiento de la planta.

Se espera que al continuar con la aplicación de este proyecto, las condiciones de operatividad y eficiencia de la planta de producción de biocombustibles del SENA Pitalito, Sean superiores a las actuales y que la planta siga funcionando en condiciones óptimas bajo estándares de calidad.

RECOMENDACIONES

Trabajar con la variedad caturra pues es mayor contenido de mucilago reporta.

Obtener el mucilago de los granos maduros, pues este reporta el mayor contenido de mucilago con un 27%.

Obtener el mucilago de las fincas que se encuentren entre los 1500 y 2500 Mts sobre el nivel del mar, pues en este rango de altura el café presenta una mayor contenido de mucilago.

Tamizar el mucilago 3 veces disminuyendo la medida del filtro de 80, 120 y 160 mesh en cada filtrado, para disminuir progresivamente el tamaño de las partículas residuales y de esta manera agilizar el proceso.

Fermentar el mucilago en recipientes herméticos con válvula de escape de gas.

Realizar pruebas de inoculación con porcentajes menores al 15%.

Realizar pruebas de regulación de PH con bicarbonato de sodio.

Continuar con el diseño de los protocolos de operación de la planta.

Es importante que se continúe con la búsqueda de nuevas metodologías y procesos de tratamiento del mucilago para la obtención de etanol.

También que se busquen nuevas alternativas de producción de etanol a partir del mucilago de café, como la destilación aprovechando la energía solar.

Se sugiere llevar a cabo experimentos con nuevos tratamiento del mucilago en el laboratorio alterando los tiempos, temperaturas y metodologías de inoculación, fermentación y pasteurización, con el propósito de mejorar constantemente los procesos productivos.

Se encontró también que se puede obtener mucilago prensando la cascarilla del café, que constituye un 24% del grano maduro.

Se recomienda realizar experimentos de inoculación con levaduras como la *Candida Albicans*, *C. Tropicalis*, *C. Krusei*, *C. lipolytica*, *C. parasilopsis* y *C. pintolopesii*; que según la levadura también reportan un buen porcentaje de producción de etanol durante el proceso de fermentación.

Se recomienda realizar nuevos ejercicios teniendo en cuenta el planteamiento realizado en este documento.

10. BIBLIOGRAFIA

- Hernández, E. (s.f.). *Producción de bio-etanol, biogás y bio-fertilizantes a partir de los desechos del beneficiado de café*. Recuperado el 12 de Abril de 2014
- Funes Caballero, M. R., Banegas, C. I., Maradiaga Gonzales, H., Osorio Rivera, M. E., Henríquez Flores, N. D., Eloy, N., y otros. (Junio de 2012). *Producción de bioetanol a partir del mucílago de café*. Recuperado el 12 de Abril de 2014, de revista ciencia y tecnología, no. 10.
- Garcia Bure, C. A. (2013). *Estudio de factibilidad del diseño de una planta productora de etanol para biocombustible, aprovechando el mucílago y pulpa de café en el distrito de san ignacio – cajamarca*. Recuperado el 21 de Agost de 2014
- Gómez Delesma, L., & Nicolás Morales, J. A. (Diciembre de 2006). *Producción de alcohol etílico a partir de mucílago de café*. Recuperado el 12 de Abril de 2014
- López Castillo, A. L., & Castil, B. A. (2012). *Validación del mucílago de café para la producción de etanol y abono orgánico*. Recuperado el 12 de Abril de 2014
- Malagon Osorio, P. A. (Octubre de 2012). *Generalidades de los biocombustibles*. Recuperado el 12 de Abril de 2014, de Biocombustibles 2012: <http://biocombustibles2012.blogspot.com/p/marco-legal.html>
- Paredes Heller, J. J. (2012). *Mejoramiento del balance de energía en la producción de etanol de aguas mieles del café*. Recuperado el 12 de Abril de 2014, de Innovare revista digital 18.
- Revista avances técnicos Cenicafe edición 422. (Agosto de 2012). *factores procesos y controles en la fermentación de café*. Recuperado el 12 de Abril de 2014
- Rodríguez Valencia, N. (2006). *Producción de etanol a partir de los subproductos del café*. Obtenido de 1 seminario de bioenergía: promoviendo el aprovechamiento de la biomasa residual.

Sarasty Zambrano, D. J. (2012). *Alternativas de tratamiento del mucilago residual producto del beneficiadero del café*. Recuperado el 21 de Agosto de 2014

ANEXOS

ANEXO 1: Descripción del proceso de beneficio del café con el desmucilagador.

Datos tomados de¹³:

El sistema tradicional de beneficiado es el despulpado y fermentado en tanques o en canales de carreteo, en los cuales el consumo de agua es muy elevado estando en un promedio de 40 litros por arroba de café, además de generar altos niveles de contaminación debido al mucilago que se disuelve en el agua.

El beneficio húmedo de café es lo que tradicionalmente se maneja en el país para obtener los cafés llamados SUAVES, en este proceso el café una vez despulpado es depositado en tanques de fermentación para obtener la hidrolisis del mucilago mediante la acción de enzimas propias del grano y microorganismos, (Fermentación natural del mucilago) posteriormente el mucilago fermentado es retirado del café por medio de lavado en un tanque (Para el caso de los pequeños productores) o es depositado en el canal de carreteo o el de semi-sumergido (Para el caso de medianos y grandes productores).

Como subproducto del beneficiado se obtiene la pulpa la cual representa el 40% en peso de cereza y el mucilago o mesocarpio llega a representar el 22% del peso del café en baba y el 13% del peso en cereza.

Rivera señala, cuando el café se lava en el tanque de fermentación el consumo de agua es de 4,2 L/Kg. Cuando el café se lava y clasifica en el canal de carreteo el consumo de agua sin recirculación es de 39 L/Kg en el caso del canal semisumergido el consumo es de 6,1L/Kg.

La contaminación producida por el lavado de café en la fermentación natural es de 30 g de demanda química de oxígeno por Kg de café cereza, la cual representa el 26 % de la contaminación potencial generada por el beneficio húmedo del café.

Por la problemática presentada a nivel de contaminación ambiental, en CENICAFE a partir de la década de los ochenta se iniciaron estudios en procesos de desmucilagado mecánico, los cuales tomaron como experiencia investigaciones realizadas en Centroamérica que combinaban la acción mecánica (agitación) con la actividad enzimática, inicialmente se creó un dispositivo denominado DESMULACLA, el cual no arrojó los resultados esperados, por el bajo rendimiento en cuanto a tiempo y además no lograba eliminar los restos de pulpa y granos no despulados.

¹³ (Sarasty Zambrano, 2012)

A travez de mas estudios e investigaciones en CENICAFE se logro una tecnologia llamada DESLIM(desmucilaginator, lavador limpiador) que arroja como resultado el proceso BECOLSUB (Beneficio Ecologico del café y sus Subproductos) que logra los objetivos esperados en cuanto a tiempo y eliminacin de pulpa y demas.

En el proceso se indica que se logro un alto porcentaje de desprendido en los primeros segundos de agitacion originandose suspenciones altamente viscosas de granos de café (mucilago) ademas de este producto contiene agua adicionada, restos de granos y de pulpa, cascarilla y otras impuresas.

La viscosidad de las suspenciones es mucho mas baja y la agitacion de los granos es mucho mas intensa, cuando la velocidad de rotacion se incrementa la viscosidad de la supenciones se reduce, los esfuerzos constantes en la vecinidad de los granos aumenta y la frecuencia de las colisiones entre granos se incrementa (mayor intercambio de energia)aumentando la tasa de remocion de mucilago.

El proceso de desmucilaginado mecanico consigue realizar la remocion rapida del mucilago sin alterar la calidad fisica y organoleptica del café ademas de reducir el consumo de agua a un litro por cada kilogramo de café pergamino procesado.

Varios autores coinciden en afirmar que el desmucilaginator mecánico redujo la contaminación generada en el proceso de beneficio húmedo del café en un 80% debido a que redujo consumo de agua, además que no altera la calidad del café, por lo tanto se debe disponer a manejar los productos que se generan el proceso de desmucilaginado.

ANEXO 2: Análisis de costo beneficio para la producción de etanol a partir del mucilago de café en la planta de biocombustibles del tecno-parque Yamboro del SENA Pitalito Huila.

Los referidos a continuación, son los costos de producción de 12.7 Lts, de etanol que se obtienen del procesamiento de treientos litros (300Lts) de mucilago de café.

Que generan una ganancia por venta de \$ 35.560 teniendo en cuenta que el costo aproximado de un litro de etanol es de \$ 2.800.

Con lo que la diferencia de costo de producción respecto de la ganancia obtenida por venta es de 66.9 %, es decir \$72.192,5.

Tabla 26: Costo General De Operación. (Fuente: el autor)

RUBROS	DESCRIPCION	TOTAL
RECURSO HUMANO	Operarios y mano de obra	\$20.536
EQUIPOS	Motobombas, filtros eléctricos, motores y torres de enfriamiento, rectificadora y despojadora	\$14.683,2
MATERIALES	Materia prima e insumos	\$2.533,3
TRANSPORTE	Movilización de la materia prima	\$70.000
TOTAL COSTOS DE OPERACIÓN		\$ 107.752,5

Tabla 27: Costo De Recursos Humanos. (Fuente: el autor)

RECURSO HUMANO	FUNCIÓN DENTRO DEL PROCESO	TIEMPO	V.HORA	COSTO	TOTAL
SUPERVISOR TABLERO DE CONTROL.	Controlar la temperatura de las torres, el paso del mosto de los tanques de fermentación al sistema de destilación y dirigir el proceso de destilación en general.	2.5 Hs	\$2.567	\$6.417,5	\$6.417,5
OPERARIO CALDERA.	Encender y controlar la presión de la caldera para calentar el sistema de destilación.	3 Hs	\$2.567	\$7.701	\$7.701
SUPERVISOR FONDOS.	Controlar la temperatura de los fondos y supervisar que no superen el imite de llenado.	2.5 Hs	\$2.567	\$6.417,5	\$6.417,5
OPERARIO TRAPICHE.	Moler la caña para obtener el mosto.	5 Hs	\$2.567	\$12.835	\$12.835
TOTAL RECURSOS HUMANOS					\$20.536

Tabla 28: Costo De Funcionamiento Equipos. (Fuente: el autor)

EQUIPO	PROCESO	JUSTIFICACION	CANT	CONSUMO	V.UNIDAD	COSTO	TOTAL
BOMBA DE CALDERA	PASTEURIZACION	Hidratar la caldera para generar vapor bombeando agua del tanque a la caldera	1	0.05 KW	\$420/KW	\$ 21	\$ 21
BOMBA DE ENFRIAMIENTO	PASTEURIZACION	Bombear agua a la torre de enfriamiento	1	4.05 KW	\$420/KW	\$ 1.701	\$ 1.701
TORRE DE ENFRIAMIENTO	PASTEURIZACION	Generar la circulación de agua por el sistema de pasteurización para enfriar el mosto y general el cambio rápido en la temperatura	1	4.18 KW	\$420/KW	\$ 1.755,6	\$ 1.755,6
MOTOR AGITADOR	FERMENTACION	Impulsar las aspas dentro de los tanques de fermentación para agitar el mosto y periódicamente	1	8.88 KW	\$420/KW	\$ 3.729,6	\$ 3.729,6
FILTRO PRENSA	FERMENTACION	Eliminar sedimentos e impurezas del mosto mediante el paso a presión	1	0.15 KW	\$420/KW	\$ 63	\$ 63
BOMBA DE SUCCION	DESTILACION	Impulsar el mosto del sistema de pasteurización a los tanques de fermentación	1	0.18 KW	\$420/KW	\$ 75,6	\$ 75,6
MOTOR AGITADOR	DESTILACION	Impulsar las aspas dentro de los tanques de fermentación para agitar el mosto durante el proceso de alimentación del sistema de destilación	1	0.37 KW	\$420/KW	\$ 155,4	\$ 155,4
BOMBA DE ALIMENTACION	DESTILACION	Impulsar el mosto de los tanques de fermentación al sistema de destilación	1	3 KW	\$420/KW	\$ 1.260	\$ 1.260
BOMBA DE ENFRIAMIENTO	DESTILACION	Bombear agua a la torre de enfriamiento	1	4.05 KW	\$420/KW	\$ 1.701	\$ 1.701
TORRE DE ENFRIAMIENTO	DESTILACION	Generar la circulación de agua asía la torre rectificadora para condensar el alcohol	1	4.18 KW	\$420/KW	\$ 1.755,6	\$ 1.755,6
BOMBA DE REFLUJO	DESTILACION	Devolver el alcohol obtenido a la torre rectificadora	1	3.75 KW	\$420/KW	\$ 1.575	\$ 1.575
CHIMENEA	DESTILACION	Permitir el escape de humo del horno de la caldera y acelerar la combustión	1	2.07 KW	\$420/KW	\$ 869,4	\$ 869,4
BOMBA DE CALDERA	DESTILACION	Bombear agua del tanque a la caldera	1	0.05 KW	\$420/KW	\$ 21	\$ 21
TOTAL EQUIPOS							\$14.683,2

Tabla 29: Costo De Materiales E Insumos. (Fuente: el autor)

MATERIAL	PROCESO	JUSTIFICACION	CONSUMO	V. UNIDAD	COSTO	TOTAL
LEVADURA	FERMENTACION	Acelera la degradación de azúcares	0.035 Ks	\$ 3.450/Kg	\$ 0,98	\$ 0,98
LEÑA	PASTEURIZACION	Encender y calentar caldera para obtener la presión deseada	20 Ks	\$ 50/Kg	\$ 1.000	\$ 1.000
	DESTILACION		30 Ks	\$ 50/Kg	\$ 1.500	\$ 1.500
AGUA	PASTEURIZACION	Hidratar la caldera para generar vapor, para calentar la pasteurizadora	300 Lts	\$0.027/Lt	\$ 8,1	\$ 8,1
	DESTILACION	Hidratar la caldera para generar vapor, para calentar el sistema de destilación	300 Lts	\$0.027/Lt	\$ 8,1	\$ 8,1
	LIMPIEZA DE LA CAÑA	Eliminar el lodo, las pelusas y demás residuos, para obtener un mosto más limpio	100 Lts	\$0.027/Lt	\$ 2,7	\$ 2,7
	LAVADO TRAPICHE	Limpiar el trapiche eliminando los sedimentos y residuos de caña.	100 Lts	\$0.027/Lt	\$ 2,7	\$ 2,7
	LIMPIEZA POST DESTILACION	Lavado de los tanques de fermentación y almacenamiento, el filtro prensa las tuberías, el sistema de destilación y la planta en general	400 Lts	\$0.027/Lt	\$ 10,8	\$ 10,8
TOTAL MATERIALES E INSUMOS						\$2.533,3

Tabla 30: Costos De Transporte. (Fuente: el autor)

TRANSPORTE	JUSTIFICACION	TOTAL
TRANSPORTE DE LA CAÑA	Traslado de la caña del sitio de compra a la planta de biocombustibles del SENA	\$70.000
TOTAL TRANSPORTE		\$70.000